

MILJØOVERVÅKING AV KULTURLAG 2015- 2020. SLUTTRAPPORT.

Munkhaugveita 5 -7, Trondheim, Trøndelag. TA 2015/17

Petersén, Anna





Tittel Miljøovervåking Av kulturlag 2015-2020. sluttrapport. Munkhaugveita 5 -7, Trondheim, Trøndelag. TA 2015/17	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 203	Publiseringsdato 30.03.2023
	Prosjektnummer 1020444	Sider 25
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Petersén, Anna	ISSN 2703-7797 ISBN 978-82-8101-349-0	Oppdragstidspunkt / periode utført 2015-2020
	Forsidebilde Profil 1:1 i hull 1.Foto: NIKU (nik_ark_339311).	

Prosjektleder Anna Petersén
Prosjektmedarbeider(e) Skriv her
Kvalitetssikrer Lise Marie Bye Johansen, Rory Dunlop

Oppdragsgiver / finansiert av Riksantikvaren/Realinvest AS

<p>Sammendrag</p> <p>Rapporten presenterer resultater fra overvåking av arkeologiske kulturlager i jordlagsprofiler på eiendommen Munkhaugveita 5-7 i Trondheim 2015-2020. Miljøovervåkingen er utført i trå med Norsk Standard 9451:2009. Bakgrunn for prosjektet var oppføring av nytt leilighetskompleks på eiendommen som tidligere rommet en bensinstasjon med nedgravede tanker for olje og drivstoff. Det er gjort flere arkeologiske undersøkelser på stedet, sist i 2002 da tanker og pumpestasjoner ble fjernet (TA 2002/06). Miljøovervåkingsprosjektet har hatt til hensikt å kartlegge tilstand og overvåke forhold for bevaring forut for, under og etter nybygg stod ferdig. To hull (hull 1 og 4) fra tidligere fjerning av tanker ble gjenåpnet i forbindelse med arkeologisk feltarbeid i 2015. Kulturlagsprofiler i sjaktveggene til begge hull ble arkeologisk undersøkt med tilstandsvurdering og uttak av jordprøver for analyser (S2). NIKUs underleverandør NIBIO (tidligere Bioforsk) installerte overvåking av utvalgte parametere i de samme profiler, og logging har pågått uten avbrudd under fem år (2015-2020). Kulturlag i området ligger over grunnvann. Den arkeologfaglig tilstandsvurdering resulterte i verdier under middels tilstand(A2-A3) utfra mengden organisk materiale i kulturlagene, tilstand til bevart tre og metall. Forhold for bevaring vurdert av NIBIO av de samme kulturlag viste overlag gode forhold for organisk materiale og middels gode for uorganisk materiale. NIBIO konkluderer med at resultater fra overvåking 2015-2020 ikke synes å ha forverret forhold for bevaring. Variasjoner i temperatur og fuktighet var størst under og etter bygging, men forholdene er stabilisert etter at leilighetskomplekset er tatt i bruk. Redokspotensialet har sunket i de øvre lag og viser gode reduserende forhold for kulturlag under ca. 9,10 m.o.h. i profil 1:1, og fra ca. 8,34 m.o.h. i profil 4:1.</p> <p>Abstract</p> <p>The report presents results from the monitoring of archaeological deposits in soil sections on the property Munkhaugveita 5-7 in Trondheim 2015-2020. Environmental monitoring has been carried out in accordance with Norwegian Standard 9451:2009. The background for the project was the construction of a new apartment complex on the property that previously housed a gas station with buried tanks for oil and fuel. Several archaeological investigations have been carried out at the site, most recently in 2002 when tanks and pumping stations were removed (TA 2002/06). The purpose of the environmental monitoring project has been to document the deposits' state of preservation and to monitor preservation conditions prior to, during and after completion of the new building. Two holes (holes 1 and 4) from previous tank removal were reopened in connection with archaeological fieldwork in 2015. The deposits exposed in the sides of both holes were archaeologically investigated, including assessment of the state of preservation, and soil samples for geochemical analysis (S2-package) were extracted. NIKU's partner NIBIO (formerly Bioforsk) installed sensors for monitoring of selected parameters in the same soil sections, and logging has been ongoing without interruption since august 2015 and to the end of 2020. Cultural deposits in the area are located above the water table. The archaeological state of preservation assessment resulted in values below medium condition (A2-A3) based on the amount of organic material in the deposits, and the condition of preserved wood and metal. Preservation conditions assessed by NIBIO of the same deposits showed good conditions for organic material and medium conditions for inorganic material. NIBIO concludes that results from the monitoring 2015-2020 do not indicate that preservation conditions have worsened. Variations in temperature and humidity were greatest during and after construction, but conditions have stabilized after the apartment complex was occupied. The redox potential has decreased in the upper layers and shows good reducing conditions for deposits situated below approx. 9.10 metres above sea level in profile 1:1, and below approx. 8.34 m.a.s.l. in profile 4:1.</p>

Emneord Miljøovervåking, kulturlag, geokjemi, arkeologi, middelalderby, Trondheim
Keywords Environmental monitoring, cultural deposits, geochemistry, archaeology, medieval town, Trondheim

Avdelingsleder
 Lise Marie Bye Johansen

Saksnummer hos forvaltningsmyndighet	07/01899-23
Kulturminne-ID	90288
Lokalitetsnavn	Trondheim middelalderby
Gnr/bnr.	-
Adresse, kommune, fylke	Munkhaugveita 5-7, Trondheim, Trøndelag
Aksesjonsnummer	-
Museumsnummer	-
Intrasis-prosjektnummer	-
Foto-/filmnummer	nik_ark_339304 -339322
Tilstedeværelse av automatisk fredede kulturminner	Ja
TA- nummer (Topografisk Arkiv, Trondheim)	TA 2015/17
Redigerbart felt]	Skriv her

Forord

NIKU – Norsk institutt for kulturminneforskning – er et tverrvitenskapelig forskningsinstitutt med faglig ansvar for arkeologisk undersøkelse og miljøovervåking av Norges middelalderbyer, kirker, klostre og borganlegg. NIKU arbeider langsiktig innenfor feltet miljøovervåking og fungerer som en av kulturminneforvaltningens faglige rådgivere for bevaring av kulturlag i umettet og mettet sone. Målet med miljøovervåking (MOV) av kulturminner er å skaffe et godt kunnskapsgrunnlag for tiltak og politiske beslutninger, og å sikre befolkningen rett til informasjon om kulturminnenes tilstand i tråd med nasjonale mål. Miljøovervåking skal også gi myndighetene kompetanse til å sette i gang tiltak for å vedlikeholde eller forebygge forringelse av viktig kulturminneverdier og evaluere virkningen av slike tiltak.

Miljøovervåking:

- gir kunnskap og oversikt over miljøtilstanden
- skaffer faktagrunnlag for bærekraftig politikkutforming, forvaltning og næringsutvikling, og bidrar til bevissthet om miljøet
- gir datagrunnlag for miljøforskning og mulighet for å oppdage og forebygge miljøproblemer
- er nødvendig for å kunne utvikle, evaluere og følge opp mål, tiltak og virkemidler i miljøvernpolitikken

Miljøovervåking av middelalderske kulturlag i Norge har i all hovedsak vært gjennomført som en del av vilkårene knyttet til vedtak i forvaltningssaker. De har dermed hatt som mål å påvise eventuelle endringer i bevaringstilstand og -forhold som en følge av konkrete tiltak og måling har vært gjort innenfor relativt korte tidsspenn, som regel fra ett til fem år. Forvaltningens behov for oversikt over – og kontroll med – kulturlagenes tilstand strekker seg utover det.

Forsvarlig forvaltning av automatisk fredete kulturlag i våre 8 middelalderbyer (Bergen, Hamar, Oslo, Sarpsborg, Skien, Stavanger, Trondheim og Tønsberg) krever inngående kunnskap om kulturlagenes bevaringsforhold og bevaringstilstand. Slik kunnskap kan innhentes gjennom et langvarig miljøovervåkingsprogram. Lange tidsserier med målinger og en jevn tilførsel av opplysninger, vil sikre forvaltningen oppdatert og tilfredsstillende kunnskap om bevaringsforhold og bevaringstilstand for de middelalderske kulturlagene i våre byer og dermed gi de beste forutsetninger for å drive en kunnskapsbasert forvaltning.

Målet for en kunnskapsbasert forvaltning av kulturlagene i middelalderbyene er å legge til rette for livskraftige bysentra, samtidig som ikke-fornybare kulturminneverdier kan tas vare på i et langtidsperspektiv.

Klimaet vårt er i endring. De økte nedbørsmengdene, eller endrede nedbørsmønstre, gir utfordringer for overvannshåndtering, særlig i tettbygde strøk og byer. Tilførsel av vann til kulturlagene vil i mange tilfeller i utgangspunktet være positivt, men økte nedbørsmengder kan også være en trussel mot kulturlagene dersom infiltreringsanlegg for håndteringen av overvannet ikke fungerer eller om for eksempel overflateforurensning fører til uønskede kjemiske endringer i kulturlagene. Miljøovervåking er også på dette feltet et viktig tiltak, slik at man ved varsling om endrede forhold som følge av nedbør / økte vannmengder, som vurderes som negative for kulturlagene, kan iverksette nødvendige avbøtende tiltak.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	9
1.1	Bakgrunn	9
1.2	Mål for miljøovervåkingen.....	10
2	Materiale og metode.....	11
2.1	Naturvitenskapelige definisjoner.....	11
2.2	Måleparametere.....	12
2.3	Etablering og installering av måleutstyr.....	13
2.3.1	Profil 1:1, Hull 1	14
2.3.2	Profil 4:1, Hull 4	15
2.4	Installering av sensorer og dataloggere	16
2.4.1	Sensorer	16
2.4.2	Datalogger	17
2.5	Avvik i måleperioden 2015 – 2021	17
3	Resultater og diskusjon	17
3.1	Forhold for tilstand og bevaring 2015.....	17
3.1.1	Kortfattet oversikt over forhold for bevaring og tilstand	17
3.2	Overvåking av profil 1:1 og profil 4:1	18
3.2.1	pH, Temperatur, fuktighet og redoksforshold	18
4	Konklusjon	23
5	Referanser	23
6	Vedlegg.....	25

1 Innledning

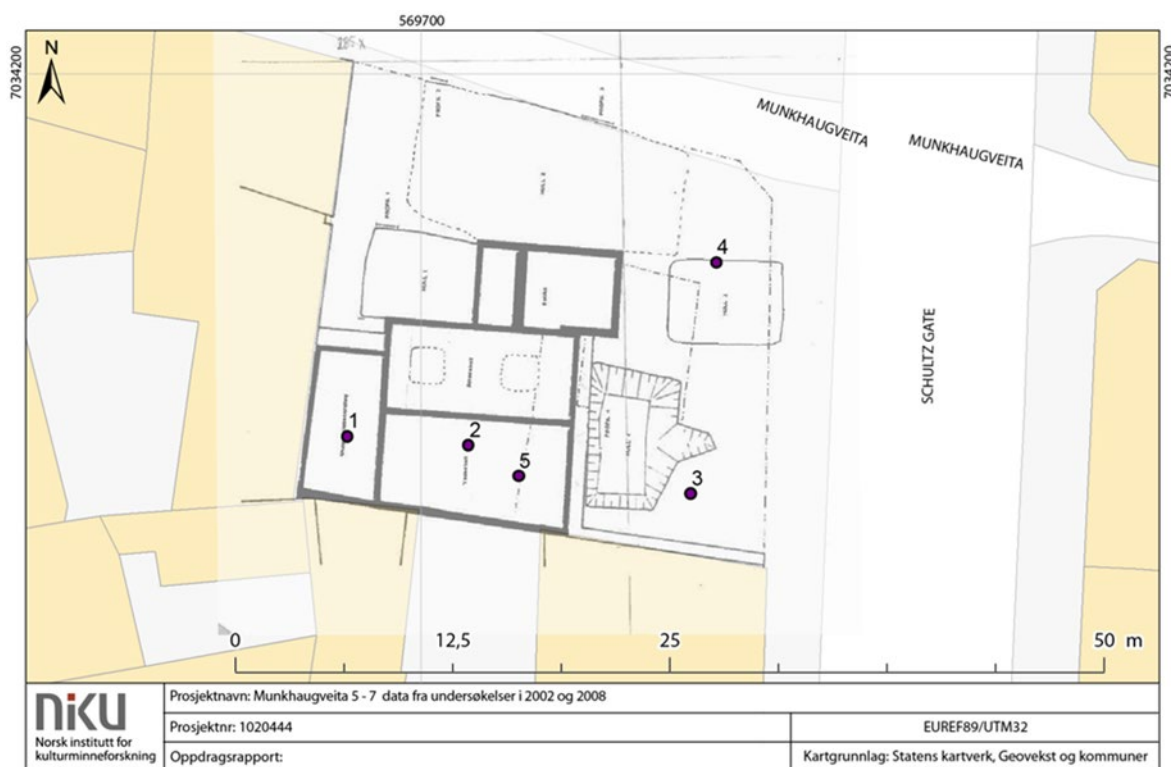
Det vises til Riksantikvarens oppdragsbestilling i brev til NIKU datert 22.01.2015, samt til Riksantikvarens vedtak datert 14.04.2015 (ref. 07/02899-23). Tiltaket ligger innenfor det automatisk fredete kulturminnet «Trondheim Middelalderby» (Askeladden-ID 90288), og gjaldt etablering av miljøovervåkingsprogram for 5 år med tilhørende arkeologisk undersøkelse for kartlegging av forhold for tilstand og bevaring av kulturlag i forbindelse med utbygging og nybygg av Munkhaugveita 5 og 7 i Trondheim. Reguleringsplan for Munkhaugveita 5 og 7 med formål om nybygg ble vedtatt i Trondheim Bystyre 29.9. 2011. Tiltakshaver var Realinvest AS.

Prosjektleder var arkeolog Anna Petersén ved NIKUs distriktskontor i Trondheim. I forbindelse med feltarbeid i 2015 deltok i tillegg til Petersén, arkeolog Chris McLees og arkeolog Julian Cadamarteri fra samme kontor. Anna Petersén har utført installasjonsrapporten og sluttrapporten for miljøovervåkingsprosjektet.

NIKUs underleverandør NIBIO (tidligere Bioforsk) leverte sin sluttrapport i januar 2021. NIKUs sluttrapport inneholder de opplysninger som NIBIO har gjort rede for i sin rapport og konkluderer forhold for tilstand og bevaring 2015-2020. NIBIOs statusrapporter og sluttrapport er lagt som eget vedlegg i NIKUs rapport.

1.1 Bakgrunn

Det er gjennomført flere undersøkelser på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. På 1930-tallet ble det etablert bensinstasjon på tomten med bygningsmasse og nedgravde tanker for drivstoff. Bensinstasjonen ble revet tidlig på 2000-tallet og alle tanker ble fjernet. Arbeidet ble fulgt opp med arkeologisk overvåking (TA 2002/06). I forbindelse med planlagt omregulering av området ble det i 2008 gjennomført grunnboringer som hadde til hensikt å kartlegge omtrentlig omfang av gjenværende, intakte kulturlag fra middelalder samt undersøke forhold for tilstand og bevaring (**Figur 1**), (Petersén og Bergersen 2008). Denne rapport er sluttleveransen for det 5-årige miljøovervåkingsprosjektet 2015 – 2020 utført av NIKU med NIBIO som underleverandør og ansvarlig for overvåking av forhold for bevaring. Det er levert installasjonsrapport fra feltarbeid gjennomført i 2015 (Petersén og Bergersen 2023), og 3 statusrapporter fra overvåkingen (Bergersen 2016, Bergersen 2018, Bergersen 2019).



Figur 1. Kart over lokaliteten Munkhaugveita 5-7 med fotavtrykk til bensinstasjonens bygninger og nedgravinger for tanker med drivstoff tegnet i forbindelse med overvåking i 2002 (TA 2002/6) og med plassering av grunnboringer 1-5 fra undersøkelse i 2008 (Petersén og Bergersen 2008).

1.2 Mål for miljøovervåkingen

Etablering av nybygg i form av et leilighetskompleks. Fotavtrykket til bygget dekket hele tiltaksområdet og det ville i praksis innebære en forseiling av grunnen (*figur 1*). Naturlig tilførsel av vann fra nedbør ville til stor del begrenses, men det var usikkert i hvilket omfang, ettersom området tidligere hadde vært asfaltert. Miljøovervåkingen hadde dermed som mål i løpet av måleperioden å kartlegge kulturlagenes bevaringstilstand og -forhold forut for anleggsperioden, underveis i denne, samt i etterkant da nybygget var tatt i bruk for å se på hvilke konsekvenser utbyggingen ville få for kulturlagene over tid.

Mål for undersøkelsen:

- Kartlegge tilstandsforhold for det arkeologiske materialet i kulturlagsprofiler.
- Kartlegge forhold for bevaring i det arkeologiske materialet fra kulturlagsprofiler med hjelp av jordkjemiske analyser.
- Installere og legge til rette for et 5-årig miljøovervåkingsprogram som har til hensikt å gi informasjon om bevaringsforhold i området i en periode før bygging som vil kunne sammenlignes med forholdene under og etter at nybygg er oppført.

2 Materiale og metode

2.1 Naturvitenskapelige definisjoner

I rapporten blir det brukt fagbegreper som trenger en forklaring fordi de brukes forskjellig innenfor de ulike fagområdene naturvitenskap og arkeologi som ellers er lite kjent. Ved vurdering av forhold for tilstand og bevaring benyttes skalaene i Norsk Standard NS 9451:2009. Skalaen som angir bevaringstilstand og bevaringsforhold fra 0–5 anvendes, og definisjoner er beskrevet i **Tabell 1 og 2**. Begge skalaer opererer med klasser fra meget dårlig til utmerket der arkeologfaglig (tilstand) og jordkjemisk (bevaring) for individuelle kulturlag blir vurdert og målt. Begge skaler angir kulturlagets plassering i forhold til grunnvann som i (C), mellom (B), og over (A). Skalaen for tilstand har fem klasser (1-5) og en (0), som angir at det ikke har vært mulig å ta ut prøvemateriale eller at tilstandsvurdering ikke er mulig å foreta. Skalaen for bevaringsforhold ved jordfaglige undersøkelser (tabell 2) opererer med fem klasser fra 1 (Elendig) til 5 (Utmerket).

Arkeologifaglige definisjoner:

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

Naturlige undergrunn: Det nivå og den masse som er upåvirket av menneskelig aktivitet, og som den menneskelige aktiviteten er etablert over.

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

Tabell 1 – Bevaringsskala som angir tilstanden i kulturlaget

Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsgrad					
	0 (Ingen)	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = A	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuierende vann) = B	B0	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = C	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Fyllmasser o.l. senere enn cirka år 1900	D0	D1	D2	D3	D4	D5

Jordfaglige definisjoner:

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.

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

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.

Tabell 2 – Skala for bevaringsforhold ved jordfaglige undersøkelser

Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsforhold				
	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = A	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuerende vann) = B	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = C	C1	C2	C3	C4	C5

2.2 Måleparametere

Stabilt eller fluktuerende grunnvann

De beste bevaringsforholdene for kulturminner i jord har vi under anaerobe forhold med reduserte redoksforhold. Ofte er slike miljøer vannmettet under grunnvannsnivået. Eksempel på slike stabile steder er torvmyrer. Andre miljøforhold som vil påvirke bevaring av kulturlag er massenes permeabilitet og vannmetning. Dette vil styre gjennomstrømning av (oksygenrikt) vann gjennom massene og diffusjon av oksygen i porene. Grunnvann som fluktuerer ofte på grunn av mye nedbør kan skade kulturlag.

pH og ledningsevne i grunnvannet som omgir kulturlagene

Grunnvannets elektriske ledningsevne sier noe om mengden ioner i vannet. Endringer i elektrisk ledningsevne skyldes bl.a. inntrengning av regnvann/smeltevann (gir oftest en lavere ledningsevne). Grunnvann som er lite påvirket av nedbør og som er i likevekt med jord eller fjell, har oftest høyere elektrisk ledningsevne. Høyt saltinnhold virker beskyttende for treverk. Syre og løslige salter medfører korrosjon av metalloverflater. Økende surhet og saltkonsentrasjon vil framskynde korrosjon av metallgjenstander og forvitring av bein. Elendige og dårlige bevaringsforhold ut fra redoksmålinger trenger ikke alltid å gi riktig logisk svar ut fra arkeologiske gjenstander og spor som ikke brytes ned. Stein, gull, og metall gjenstander og bein er ofte godt beskyttet hvis de ligger tørt og pH er basisk og ikke sur. Slike områder er ofte knyttet til bosetninger. Nøytral pH omkring 7 og stabilitet er gunstig for gode bevaringsforhold.

Temperatur som omgir kulturlagene

Alle kjemiske og biologiske nedbrytningsprosesser går raskere ved høyere temperatur. Unormale temperatursvingninger påvirket av ytre krefter som varme fra kjellere, fortau, eller fjernvarme kan på sikt øke skade på kulturlagene i middelalderbyer. Lav temperatur på grunnvann vil virke beskyttende.

Jordfuktighet

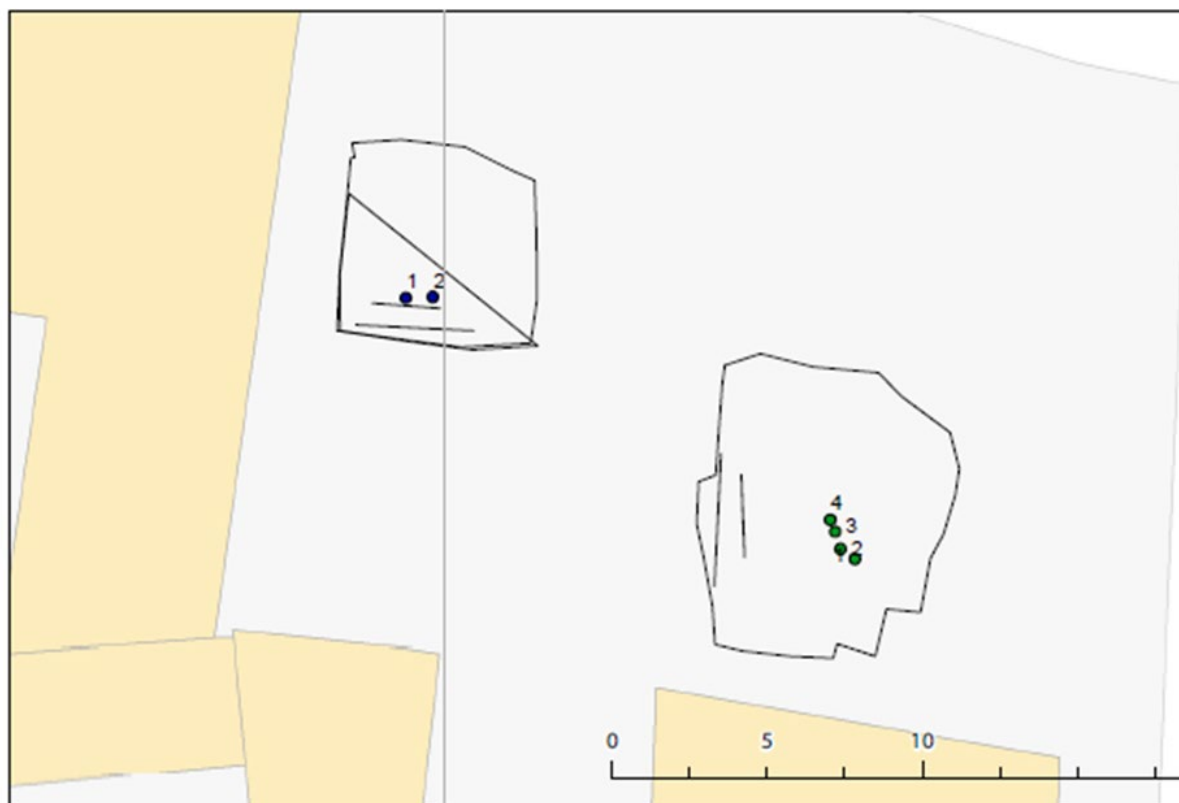
Høy jordfuktighet har lite plass til luftfylte porer. Kulturlag sammen med høy jordfuktighet med vannfylte porer er beskyttende. Svingninger i jordfuktighet mellom fuktige og tørrere forhold vil være

ugunstig for å beskytte organiske kulturlag. For vurdering av forhold for tilstand og bevaring på lokaliteten Munkhaugveita 5-7 ligger kulturlagene i posisjon A – over grunnvann (umettet sone).

2.3 Etablering og installering av måleutstyr

Overvåkingsutstyr og datalogger av kulturlag i to jordprofiler ble installert i august 2015 i forbindelse med den arkeologiske undersøkelsen og er beskrevet i installasjonsrapporten NIKU Rapport 161. Oversikt over geografisk sted for profiler og plassering av sensorer er vist i **Figur 2**. Dataloggeren ble montert i skap på husvegg til naboeiendommen i sør med adresse Schultz gate 4 (matrikkelnummer 400/131).





Figur 2. Lokalteteten Munkhaugveita 5-7 TA 2015/17 i Trondheim sentrum (øverst). Hull 1, profil 1:1 (øverst til venstre) og Hull 4, Profil 4:1 (nederst til høyre). Illustrasjonen er hentet fra installasjonsrapporten NIKU Rapport 161.

2.3.1 Profil 1:1, Hull 1

Profil 1:1 sammenfalt med sjaktveggen mot sør i hull 1 (figur 2) og var ca. 2. bred og ca. 2,0 m høy målt fra første kulturlag under bankett tilhørende en av grunnmurene til den tidligere bensinstasjonen (**Figur 3**). I øvre del ble det påvist to store avfallsgroper med etter-reformatorisk opprinnelse. Under gropene ble det registrert flere kompakte lag og nedgravinger. I nedre del av profilen var kulturlagene ensartet med et større innhold av silt/leire enn kulturlagene over. Fargeskiftet mellom lagene i øvre og nedre del av profilen var markert. De nedre lagene var mørkgrå/grå mens de øvre var brune/gråbrune. Kulturlagene inneholdt generelt små mengder synlig organisk materiale. Der det ble funnet treflis var kvaliteten meget dårlig. De dyrebein som ble funnet var myke med porøse overflate. Ingen av kulturlagene i profil 1:1 fikk tilstandsverdi bedre enn A2 (dårlig).



Figur 3. Profil 1:1 mot sør, merk fargeforskjell mellom kulturlag i øvre og nedre del. Foto: nik_ark_339316.

2.3.2 Profil 4:1, Hull 4

Profil 4:1 lå i østre side av hull 4 i retning mot Schultz gate (**Figur 4**). Profilen var 1,6 m bred og 3,7 m høy. Fra terreng og ned til 1,9 m dybde ble laget oppfattet som løsmasse. Under denne og ned til bunn ved ca.8 m.o.h. ble det registrert forskjellige kulturlag som alle var tette og godt komprimert. Lagsekvensen hadde en helling mot sør. Fargen på kulturlagene var gråbrun med overgang til mørk grå i den nedre del av profilen. Kulturlagene inneholdt med et unntak små mengder synlig organisk materiale i form av tre, men forholdsvis store mengder dyrebein av varierende størrelse. Mindre dyrebein hadde porøse overflater og var myke, mens større bein hadde intakt overflate. Klumper av gjennomkorrodert jern ble registrert i flere av kulturlagene. De treflisene som synlige var myke og morkne. Det ble registrert liggende treverk som kunne følges over en lengre strekning i profilen. Treverket hadde meget dårlig kvalitet. Ingen av kulturlagene i profil 4:1 fikk bedre tilstandsvurdering enn A3 (middels) og de aller fleste fikk vurdering A2 (dårlig).



Figur 4. Profil 4:1 mot øst. Foto: nik_ark_339317

2.4 Installering av sensorer og dataloggere

2.4.1 Sensorer

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. Redokssensorer var av typen EKT 950 fra Echotech levert av IMKO. Platina elektroder (EKT 9500201020) ble også brukt ulike steder i profilene. I tillegg ble en felles 3M Ag/AgCl Ref. elektrode (EKT 9500201022) satt inn i representative masser som vil kommunisere godt med redoks verdier fra platina elektrodene. Referanseelektroden ble plassert i et rør med gel av 3M Ag/AgCl som skal gi god kontakt med jord samtidig som den skal beskytte elektroden. Alle redoksverdiene (Eh.) ble omregnet med +210mV ut fra målt middel-temperatur i kulturlagene.

2.4.2 Datalogger

Dataloggeren var av typen UniL og Com fra SEBA Hydrometrie (<http://www.seba-hydrometrie.de/en/applications.html>). Loggeren er utstyrt med en egen antenne for å sikre god overføring av signaler. Strømtilførsel skjer via et 12V batteri med lang levetid. Data overføres fra logger via GPRS (datatrafikk over mobil nettet) til en egen webside på internett.

2.5 Avvik i måleperioden 2015 – 2021

Det er ikke registrert avvik i målingene i måleperioden. Alle sensorene har gitt gode resultater i hele måleperioden fra installasjon september 2015 til ut 2020. Sensor temperatur 4.1 i Hull 4 sluttet å gi normale verdier starten av januar 2021.

3 Resultater og diskusjon

Deler av resultatene i dette kapitlet med underkapittel 3.1 er hentet fra NIBIO Rapport vol.7 (20) 2021 som danner sluttrapport for miljøovervåking 2015 – 2020, hvor det ble gitt en gjennomgang av temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold i de to kulturlagsprofilene (Bergersen 2021). Rapporten er vedlagt sammen med statusrapporter fra NIBIO (se vedlegg). Resultatene er i dette kapitlet sammenstilt med resultat fra den arkeologiske tilstandsvurderingen. NIBIO har som del av et eget forskningsprosjekt foretatt et laboratorieforsøk av nedbrytning. Resultater vises i NIBIOs sluttrapport avsnitt 3.5 (Bergersen 2021) og omtales ikke videre i denne rapport.

Miljøovervåking på eiendommen Munkhaugveita 5-7 i Trondheim har hatt til hensikt å overvåke utvalgte parametere over tid i forhold til etappene i utbyggingen på tomten, det vil si situasjonen før bygging, under bygging og etter at nybygg var rest og tatt i bruk. Tomten var ryddet for tidligere bebyggelse tidlig på 2000-tallet og tanker for drivstoff og olje ble gravd opp og de tilhørende nedgravningene ble fylt igjen. Noen av disse nedgravninger hadde i 2002 vært gjenstand for arkeologisk overvåking (TA 2002/06). Ved installasjon av overvåkingsutstyr i 2015 ble to av de nedgravninger på tomten som inngikk i overvåkingen fra 2002 gravd opp på ny. Nummereringen av hullene fra 2002 ble beholdt i 2015 for å ikke skape forvirring av hvilke hull som ble undersøkt. Kulturlagsprofiler i hull 1 og 4 og sensorer for MOV ble satt inn en kulturlagsprofil for hvert hull, kalt profil 1:1 i hull 1, og profil 4.1 i hull 4 (Petersén og Bergersen 2023). Hull 1 og 4 ble etter installasjon av miljøovervåkingsutstyr i 2015 tettet med fuktisolerende duk av type Voltex nærmest profilveggene og kraftig duk av geotekstil ble lagt mellom den fuktisolerende duken og gjenfyllingsmassen. Utbygning begynte så å si rett etter at arkeologiske feltarbeid var avsluttet, og nybygg med formål bolig ble tatt i bruk i 2017/2018. Detaljer knyttet til hvordan hull 1 og 4 ligger i forhold til nybygg er ikke kjent annet enn begge hull med overvåkingsutstyr er helt tildekket av det nye bygget og at overflaten i bakgårdsområdene i hovedsak består av ikke penetrerende materiale. Overvann føres ned i rør til det kommunale ledningsnett for overvannshåndtering.

3.1 Forhold for tilstand og bevaring 2015

3.1.1 Kortfattet oversikt over forhold for bevaring og tilstand

Jordkjemisk analyse av jordprøver tatt fra kulturlag i profil 4:1 og profil 1:1 var utført i forhold til analysepakke S2 (inkluderer S1) beskrevet i NS9451:2009. Resultatene fra 2015 viste gjennomgående gode forhold for organisk materiale og mindre gode for uorganisk materiale. Den arkeologfaglige vurderingen av tilstand har dårlig overensstemmelse med de jordkjemiske resultater for bevaring av organisk materiale, men bedre med resultatene for bevaring av uorganisk materiale. Som det kommer frem av tabell 3 var det målte innhold av organisk materiale liten (3 - 21% av jordprøvens innhold). Tilstandsvurdering av kulturlag der andelen organisk materiale kan være utfordrende, og det er vanskelig å vurdere om den lave mengden skyldes tidligere nedbrytning eller et lavt innhold i kulturlagets opprinnelige sammensetning. **Tabell 3** gir en oversikt av verdiene til fysiske

og kjemiske forhold samt bevaringsforhold målt i 2015. For full oversikt over bevaringsforhold vises det til installasjonsrapport NIKU Rapport 161 (Petersén og Bergersen 2023) og til sluttrapport fra NIBIO (vedlegg).

Tabell 3. Analyserte kjemiske og fysiske forhold (S2) i jordprøver tatt ut fra profil 1:1 og 4:1 i 2015 med bevaringsforhold og arkeologisk tilstandsvurdering (Bergersen 2021, tabell 2).

Prøver	Dyp	Lag	Tørrstoff	Organisk materiale	Vanninnhold	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 forurensset

3.2 Overvåking av profil 1:1 og profil 4:1

Tabeller vist i avsnitt 3.2.1 er tatt fra NIBIOs sluttrapport 7/20/2021. Denne rapport inneholder i tillegg grafer over jordtemperatur vist med middels utetemperatur per dag og temperaturforhold, fuktighet og redoksforhold sammenlignet med mm nedbør per dag. Opplysninger om middels utetemperatur og mm nedbør per dag i Trondheim sentrum er hentet fra www.yr.no.

3.2.1 pH, temperatur, fuktighet og redoksforhold

pH ble målt i forbindelse med analyse av jordprøver i 2015. pH 7 angir nøytral verdi. For profil 1:1 lå verdien fra 6,7 til 7,0 – det vil si svag sur til nøytral. I profil 4:1 lå verdiene fra 6,8 til 7,3 – det vil si fra svag sur til svag basisk.

Temperaturen i profil 1:1 hadde i august 2015 en median verdi på 8,8 – 9,1 og i 4:1 på 7,3 – 8,7. Medianverdiene var lavere i begge perioder 2017-2018, men økte gjennom 2019 og 2020 etter at nybygg var tatt i bruk (**Tabell 4 -6**). Gjennomsnittstemperatur har dog sjelden oversteget +10 grader.

Tabell 4. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2015-2016	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	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	8,8	9,2	9,0	6,6	7,3	8,1	8,5	8,8
Gjennomsnitt	8,8	9,1	8,9	7,3	7,4	8,1	8,3	8,7

Tabell 5. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017 og 2018

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2017	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	2,3	3,6	3,8	1,3	1,9	3,1	3,9	4,0
Maks	12,0	11,4	10,9	13,2	11,9	11,4	10,3	10,4
Median	6,2	6,7	6,5	4,6	4,7	5,8	6,2	6,5
Gjennomsnitt	6,7	7,2	7,2	5,8	5,8	6,5	6,7	7,0

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2018	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	1,4	2,1	2,2	0,0	1,1	2,3	2,9	2,8
Maks	10,3	10,0	9,8	13,2	12,0	11,6	10,6	11,8
Median	5,7	5,5	5,1	9,3	7,8	7,1	6,3	6,5
Gjennomsnitt	5,5	5,9	5,8	7,2	6,6	6,8	6,6	6,8

Tabell 6. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2019 og 2020

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2019	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	5,8	6,6	6,4	8,9	7,5	7,8	6,7	4,7
Maks	12,2	12,1	11,5	14,0	13,0	12,5	11,6	12,1
Median	8,3	8,7	8,4	10,8	9,8	9,5	8,7	8,8
Gjennomsnitt	8,6	8,9	8,7	11,1	10,1	10,0	9,1	8,9

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2020	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	6,3	7,1	6,8	9,7	8,7	8,9	8,0	6,9
Maks	12,1	12,0	11,8	14,2	13,1	12,8	12,0	12,5
Median	9,1	9,5	9,1	12,8	10,9	10,5	9,6	9,4
Gjennomsnitt	9,0	9,4	9,2	12,4	10,9	10,8	9,9	9,7

Jordfuktighet. I 2015 hadde i profil 1:1 en medianverdi på 60-68%. I profil 4:1 var samme verdi lavere med unntak av sensormåling fra lag helt i bunn. Verdiene er i overensstemmelse med de visuelle observasjoner som ble gjort i 2015. Kulturlag i øvre deler av profil 1.1 og 4.1 var tørrere enn i de nedre deler, og i den tid hullene stod åpne samlet vann seg i bunn av begge hull uten at dette skyldtes nedbør. Forholdene i profil 1:1 ble oppfattet som jevnt over våtere enn forholdene i profil 4:1. Fuktigheten synes å ha blitt påvirket av byggeaktivitet i negativ retning, men forholdene er blitt mer

stabile i 2019-2020 (**Tabell 7**). Medianverdiene sett gjennom måleperioden viser at fuktigheten har steget i profil 1:1 fra 2015 til 2020, og svingningene er mye større i den øvre del av profilen på 9,10 m.o.h enn i de nedre deler. I profil 4:1 er svingningene størst i den nedre del av profilen, men her er fuktigheten jevnt over meget høy.

Tabell 7. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2015-2016	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	46	48	62	32	37	37	39	45
Maks	98	67	73	36	75	39	42	100
Median	59	60	68	34	44	38	40	87
Gjennomsnitt	60	60	68	34	49	38	40	85

Tabell 8. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017 og 2018.

Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2017	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	34	54	65	33	42	38	37	56
Maks	100	65	73	71	69	69	42	100
Median	64	58	69	35	49	39	40	97
Gjennomsnitt	65	59	69	36	49	40	40	94
Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2018	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	34	57	66	33	44	40	36	86
Maks	98	66	75	38	52	45	38	100
Median	38	61	71	34	48	41	37	100
Gjennomsnitt	53	61	71	35	48	41	37	99

Tabell 9. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2019 & 2020.

Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2019	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	36	59	69	31	41	39	36	75
Maks	88	66	76	33	45	41	40	100
Median	72	61	72	32	44	40	38	100
Gjennomsnitt	65	62	72	32	43	40	38	94
Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2020	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	35	61	72	31	40	38	34	66
Maks	91	68	78	31	42	40	38	100
Median	75	65	75	31	41	39	36	92
Gjennomsnitt	68	65	75	31	41	39	36	91

Redoksforhold i profil 1:1 ble målt på høyde 9,10 og 8,63 m.o.h. Redoksforholdene var betydelig høyere i den øvre delen enn i den nedre delen av profil 1:1 i begynnelsen av måleperioden, men

mellom 2017 og 2018 vises en markant nedgang. Nedgangen vedvarer til måleperiodens slutt da medianverdien er -231mV. Dette er en gunstig utvikling. I det lavere nivået av profil 1:1 har redoksforholdene vært lave og verdiene har vært jevnt synkende. Øverste del av profil 4:1 på 10,1 m.o.h. lå i begynnelsen av måleperioden betraktelig høyere enn de tre lavere nivåene, men utviklingen under måleperioden har vært positiv med fallende verdier. Medianverdien er fortsatt over +259vH for de to øvre nivåer i profil 4:1, mens de to nedre nivåene som i utgangspunktet var lave har falt ytterligere. Dette viser i likhet med temperaturforholdene en positiv utvikling.

Tabell 10. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Redox- condition 2015 & 2016	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	339	-140	540	-46	-106	-168
Max	639	31	732	302	-49	-118
Median	412	-99	709	259	-95	-135
Average	433	-78	699	253	-93	-138

Tabell 11. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017 & 2018.

Redox- condition 2017	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-257	-198	399	157	-108	-146
Max	597	-99	729	343	-94	-120
Median	413	-120	714	244	-101	-137
Average	200	-129	655	229	-102	-136

Redox- condition 2018	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-256	-192	298	-13	-104	-145
Max	56	-135	609	248	-85	-117
Median	-231	-166	397	224	-99	-132
Average	-206	-165	401	208	-98	-132




Tabell 12. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2019 & 2020.

Redox- condition 2019	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-258	-197	282	106	-100	-147
Max	-207	-133	323	262	-74	-100
Median	-226	-161	292	150	-95	-126
Average	-226	-164	293	170	-95	-126

Redox- condition 2020	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-281	-227	262	-67	-134	-222
Max	-214	-142	312	320	-93	-114
Median	-259	-191	278	289	-131	-169
Average	-253	-189	282	238	-123	-165

Det er ikke målt vesentlige endringer i medianverdiene av fuktighet og temperatur i forhold til utgangsverdiene av disse parametre målt ved installasjon i 2015. Redoksforhold er blitt fulgt på flere dybder av profil 1:1 og 4:1. NIBIO konkluderer med at forholdene har stabilisert seg særlig i år 3 og 4, noe som oppfattes som gunstig for bevaring. Særlig redoksforholdene har hatt en gunstig utvikling unntatt i de øvre delene av profil 4:1.

Bevaringsforholdene 2015-2020 er vurdert i forhold til den såkalte «Trafikklysmodellen» utviklet av Vibeke Vandrup Martens (Martens 2016). De gjennomsnittlige prosentuelle endringene i de jordfysiske forholdene i profil 1:1 og 4:1 er slik at verdiene faller innenfor grønt nivå, det vil si at endringer av bevaringsforhold i dette tilfelle ikke synes å lede til akselerert nedbrytning.

	% endring i vanninnhold i jord	% endring skader på overflate	°C økning av jordtemperatur	% økning i nedbrytningshastighet	% tap/ skade på lokalitet forårsaket av fortsatt bruk	% tap/ skade på lokalitet forårsaket av ny/ annen bruk/ tiltak
	11-	11-	2-	21-	21-	11-
	6-10	6-10	1-1.9	11-20	11-20	6-10
	0-5	0-5	0-0.9	0-10	0-10	0-5

Figur 5. Terskelverdier definert som endring av bevaringsforhold illustrert i «trafikklys» modell (Martens 2016:97).

Både profil 1:1 og 4:1 har tykke kulturlag fra nyere tid over de automatisk fredete kulturlagene, og disse fungerer som beskyttelse for de middelalderse kulturlag der man ønsker stabile forhold som ikke leder til økt nedbrytningshastighet. Til tross for at det er målt svingninger i alle parametre som er blitt overvåket gjennom måleperioden 2015-2020 synes forholdene særlig etter 2018 å ha stabilisert seg. Største endringer i måleverdier som kan resultere i en negativ utvikling synes å ha skjedd under anleggsperioden. Etter at leilighetskomplekset er tatt i bruk har redoksforholdene hatt en utvikling som er gunstig med tanke på bevaring.

4 Konklusjon

Denne sluttrapporten presenterer resultater fra overvåking av bevaringsforhold i arkeologiske kulturlag i Munkhaugveita 5-7, Trondheim (Askeladden Id 90288) for perioden 2015-2020. Undersøkelsen har hatt til hensikt å overvåke bevaringsforholdene i automatisk fredete kulturlag for, under og etter bygging i to kulturlagsprofiler innenfor det tiltaksområdet. Automatisk fredete kulturlag fra middelalder ble registrert fra ca. 9 m.o.h. og ned til ca. 7,8 m.o.h. Naturlig undergrunn ble ikke nådd i noen av undersøkelsesstedene.

Fysiske og kjemiske jordforhold er målt og rapportert av NIBIO. Forholdene har vist svingninger i perioden, men forholdene synes å ha stabilisert seg under siste del av perioden etter at nybygg er tatt i bruk. Endringer og svingninger i temperatur, fuktighet og redoksforhold etter installasjon i 2015 kan skyldes anleggsvirksomhet og bruk av nybygget. I de siste måleårene 2019-2020 har forholdene stabilisert seg og særlig redoksforholdene har vist en gunstig utvikling med tanke på fortsatt bevaring. Med unntak av lag i øvre del av profil 4:1, er det er ikke registrert endringer som risikerer å føre til akselerert nedbrytning. NIBIO konkluderer med at nybygget over områder med automatisk fredete kulturlag i Munkhaugveita 5-7 ikke har påvirket de overvåkede kulturlagene direkte negativt.

5 Referanser

- Bergersen, O. 2016. Jordkjemisk forundersøkelse og miljø-overvåking av arkeologiske kulturminner fra Middelalder, Munkehaugsveita, Trondheim 2016. NIBIO Rapport 2 (17) 2016.
- Bergersen, O. 2018. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim 2016. Statusrapport II september 2015 til desember 2017. NIBIO Rapport vol.4 2018.
- Bergersen, O. 2019. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. Statusrapport III september 2015 til mars 2019. NIBIO Rapport vol.5 2019.
- Bergersen, O. 2021. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen før og etter nybygg på tomt i Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Sluttrapport 2015 til og med 2020. NIBIO Rapport vol.7 (20) 2021.
- Bergersen O. og Petersén, A. 2009. Forundersøkelse med grunnboring for tilstandsanalyse av bevaringsforhold for kulturlag, Munkhaugsveita 3-7, Trondheim – Arkeologisk og jordfaglig analyse NIKU Oppdragsrapport 37/2009 og Bioforsk rapport Vol 4 (29).
- Brock, T.D. 2006. Biology of microorganisms. 11ed. Prentice Hall International editions, London.
- Martens, V.V 2016. Preserving Rural Settlement Sites in Norway? Investigations of Archaeological Deposits in a Changing Climate. Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 16. Vrije Universitet, Amsterdam.
- NS9451:2009 Kulturminner Krav til miljøovervåking og -undersøkelse av kulturlag. Norsk Standard.
- Petersén, A. og Bergersen, O. 2023. Munkhaugveita 5-7, Trondheim, Trøndelag, TA 2015/17. Arkeologisk undersøkelse med kartlegging av forhold for tilstand og bevaring av kulturlag samt etablering av miljøovervåkingsprogram. NIKU Rapport 161.

Arkivrapporter

Overvåking/forundersøkelse i forbindelse med riving av bensinstasjon i Munkhaugveita 3-5. TA 2002/06. NIKU Distriktskontor Trondheim. Prosjekt 22225000.

6 Vedlegg

NIKU NIBIO Installasjonsrapport. NIKU Rapport 161

NIBIO Rapport vol.4 2018 Statusrapport II

NIBIO Rapport vol.5 2019 Statusrapport III

NIBIO Rapport vol.7 (20) 2021 Sluttrapport

Norsk institutt for kulturminneforskning er et uavhengig forsknings- og kompetansemiljø med kunnskap om norske og internasjonale kulturminner.

Instituttet driver forskning og oppdragsvirksomhet for offentlig forvaltning og private aktører på felter som by- og landskapsplanlegging, arkeologi, konservering og bygningsvern.

Våre ansatte er konservatorer, arkeologer, arkitekter, ingeniører, geografer, etnologer, samfunnsvitere, kunsthistorikere, forskere og rådgivere med spesiell kompetanse på kulturarv og kulturminner.

www.niku.no

NIKU Rapport 203

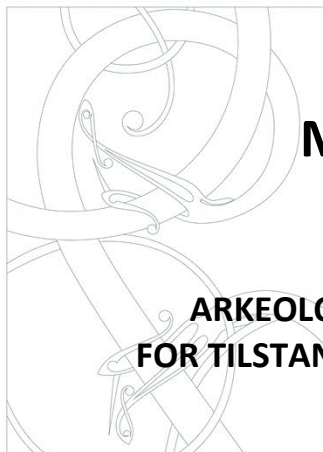
NIKU hovedkontor
Storgata 2
Postboks 736, Sentrum
0105 OSLO
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tønsberg
Farmannsveien 30
3111 TØNSBERG
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Bergen
Dreggsallmenningen 3
Postboks 4112, Sandviken
5835 BERGEN
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Trondheim
Kjøpmannsgata 1b
7013 TRONDHEIM
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tromsø
Framsenteret
Hjalmar Johansens gt. 14
9296 TROMSØ
Telefon: 77 75 04 00



MUNKHAUGVEITA 5 – 7, TRONDHEIM, TRØNDELAG, TA 2015/17

ARKEOLOGISK UNDERSØKELSE MED KARTLEGGING AV FORHOLD
FOR TILSTAND OG BEVARING AV KULTURLAG SAMT ETABLERING AV
MILJØOVERVÅKINGSPROGRAM

Petersén, Anna og Bergersen, Ove





Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU)

Storgata 2, Postboks 736 Sentrum, 0105 Oslo

Telefon: 23 35 50 00

www.niku.no

Tittel MUNKHAUGVEITA 5 – 7, TRONDHEIM, TRØNDELAGE, TA 2015/17 ARKEOLOGISK UNDERSØKELSE MED KARTLEGGING AV FORHOLD FOR TILSTAND OG BEVARING AV KULTURLAG SAMT ETABLERING AV MILJØOVERVÅKINGSPROGRAM	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 161	Publiseringsdato 03.01.2023
	Prosjektnummer 1020444	Sider 37
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Petersén, Anna og Bergersen, Ove	ISSN 1503-4895 ISBN 978-82-0801-308-7	Periode gjennomført Aug. – Sept. 2015
	Forsidebilde Fotomontasje NIKU/NIBIO	

Prosjektleder Anna Petersén
Prosjektmedarbeider(e) Chris McLees, Julian Cadamarteri
Kvalitetssikrer Lise Marie Bye Johansen

Finansiert av Realinvest AS

<p>Sammendrag</p> <p>På oppdrag fra Riksantikvaren har NIKU i samarbeid med NIBIO gjennomført en arkeologisk og jordfaglig undersøkelse av tilstand og forhold for bevaring med etablering av miljøovervåkingsprogram på eiendommen Munkhaugveita 5 – 7, Trondheim, Sør-Trøndelag. Eiendommen ligger innenfor det automatisk fredete kulturminne «Middelalderbyen Trondheim», (Askeladden Id. 90288). På 1930-tallet ble det etablert en bensinstasjon på eiendommen med bygningsmasse og med store nedgravinger for drivstofftanker. Bensinstasjonen ble revet tidlig på 2000-tallet, men på 1990-tallet var noen av drivstofftankene allerede blitt fjernet. I 1992 og i 2002 ble det gjort punktvis arkeologiske undersøkelser med dokumentasjon av kulturlager fra profil i forbindelse med fjerning av nedgravde tanker for drivstoff. I 2008 ble det gjort en arkeologisk forundersøkelse med kartlegging av kulturlagsforhold med hjelp av grunnboring (2008/25). Arkeologiske registreringer i 2015 ble gjort i to av de nedgravinger som vært gjenstand for arkeologisk arbeid i 2002 (TA 2002/06). Kulturlag ble dokumentert fra profiler, og kulturlag med datering til middelalder ble registrert fra ca. 9 m.o.h. Sensorer for utstyr for måling av redoks, temperatur og fukt er installert i to kulturlagsprofiler i den vestre og østre del av eiendommen og tilkoplede datalogger i skap. Forhold for bevaring er med utgangspunkt i jordprøver vurdert til gode, og det er ikke registrert noen forringelse av verdiene for bevaringsforhold mellom 2015 og 2008.</p> <p>Abstract</p>

Emneord Arkeologi. Middelalder. Miljøovervåking.
Keywords Arkeologi. Miljøovervåking. Forhold for tilstand og bevaring. Umettet sone. In situ bevaring., Trondheim.

Avdelingsleder
Lise Marie Bye Johansen

Forord

Denne rapport er en installasjonsrapport for overvåkingsprogrammet som ble igangsatt 2015 i forut for etablering av nybygg i Munkhaugveita 5 og 7 i Trondheim, Sør-Trøndelag der intakte kulturlag skal bevares *in situ*. Rapporten gjør rede for arbeid som er blitt gjennomført i felt sammen med analyseresultater fra de jordprøver som ble tatt med hensyn til bevaringsforhold. Rapporten er samskrevet av NIKU og NIBIO, og den ble påbegynt i 2015 men ferdigstilt først i 2023. NIKU har ledet prosjektet fra planlegging og feltarbeid. NIBIO har hatt ansvar for å kartlegge bevaringsforhold fra ulike kulturlag og installere overvåkingsutstyr for miljøovervåkingsprogrammet. Rapporten gir en oversikt over arkeologiske og naturvitenskapelige begreper og definisjoner som benyttes i kulturminneovervåking.

Fra NIKU Trondheim har følgende personer hatt oppgaver i prosjektet:

Anna Petersén (prosjektledelse, feltarbeid og rapportering), Chris McLees (feltarbeid) og Julian Cadamarteri (feltarbeid og GIS).

Fra NIBIO har følgende personer deltatt i prosjektet:

Ove Bergensen (prosjektledelse, feltarbeid, analysearbeid og rapportering), Thor Endre Nytrø, Srikanthapalan Muthulingam (feltarbeid og innstallering av MOV utstyr).

Anna Petersén

NIKU

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	7
1.1	Arkeologiske og kulturhistoriske forhold	7
1.2	Problemstilling og mål for undersøkelsen.....	8
1.3	Materiale og metoder	9
1.3.1	Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner	9
1.3.2	Skala for forhold for tilstand (arkeologfaglig) og bevaring (jordfaglig).....	10
2	Arkeologisk feltarbeid	11
2.1	Arkeologisk dokumentasjon, observasjoner og tolkning	13
2.1.1	Hull 1.....	13
2.1.2	Hull 4.....	17
2.2	Gjenstandsfunn og naturvitenskapelig prøvemateriale.....	21
2.2.1	Radiologiske dateringer.....	22
2.2.2	Sammenfatting av arkeologiske observasjoner og tilstandsvurdering i Hull 1 og Hull 4 22	
2.3	Kommentar til kulturlagsvolum i hull 1 og hull 4 basert på opplysninger fra TA 2002/06, TA 2008/25 og TA 2015/17.....	23
2.4	Feltarbeid i forbindelse med jordfaglig arbeid og installasjon av måleutstyr for miljøovervåkingsprogram.....	24
2.4.1	Avbøtende tiltak, tildekking	27
2.5	Arkeologfaglig vurdering av forhold for tilstand for kulturlag i profil (NIKU)	28
2.6	Jordfaglige forhold og vurdering (NIBIO)	28
2.6.1	Kjemiske analyseparameter	28
	S1 Grunnleggende parametere	29
	S2 Miljøparametere.....	29
2.6.2	Vurdering av bevaringsforhold ut fra fysiske og kjemiske analyser	30
2.6.3	Vurdering av prøvene fra profil 1 hull 4	30
2.6.4	Vurdering av prøvene fra profil 1 hull 1	31
2.7	Miljøovervåkingsprogram	33
3	Sammenfatting	34
3.1.1	Arkeologfaglig vurdering av tilstand.....	35
3.1.2	Jordfaglig vurdering av bevaringsforhold.....	35
3.1.3	Forskjeller mellom verdier for forhold for tilstand og bevaring.....	35
4	Konklusjon	36
5	Referanser	36
6	Vedlegg.....	37

1 Innledning

Det vises til Riksantikvarens oppdragsbestilling i brev til NIKU datert 22.01.2015, samt til Riksantikvarens vedtak datert 14.04.2015 (ref. 07/02899-23). Tiltaket ligger innenfor det automatisk fredete kulturminnet «Middelalderbyen Trondheim» (Askeladden-ID 90288), og gjaldt etablering av miljøovervåkingsprogram for 5 år med tilhørende arkeologisk undersøkelse for kartlegging av forhold for tilstand og bevaring av kulturlag i forbindelse med utbygging og nybygg av Munkhaugveita 5 og 7 i Trondheim. Reguleringsplan for Munkhaugveita 5 og 7 med formål om nybygg ble vedtatt i Trondheim Bystyre 29.9. 2011. Tiltakshaver var Realinvest AS. Optiman AS representerte tiltakshaver med ansvar for prosjektering og oppfølging.

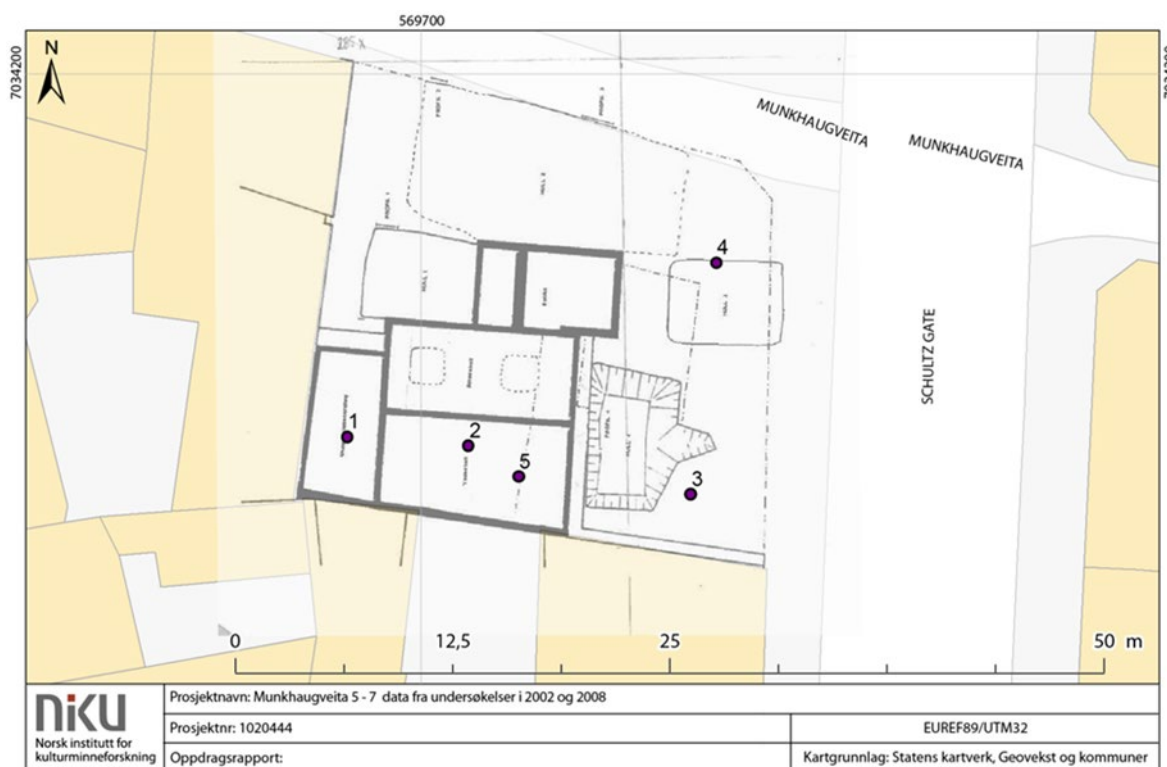
1.1 Arkeologiske og kulturhistoriske forhold

Munkhaugveita 5 og 7 ligger i vestre del av middelalderbyen Trondheim, nært skillet mellom byens bebygde deler og dens innmark. Det eksisterer få opplysninger om bruk og benyttelse av dette område i middelalderen. På grunnlag av skriftlige kilder og eldre kartmateriale har man antatt at området har ligget på sørsiden av den så kalte Smidesgeilan (Berg 1951), et veifar som løp ut fra bykjernen og videre mot nordvest. Navnet «Smidesgeilan» antyder at det har vært metallhåndverk i området, men det er uvisst hvor lang tid tilbake i tid slik virksomhet kan trekkes. En arkeologisk utgraving fra 1985, (TA 1985/12A) i hjørnet av Schultz gate 8 og Munkhaugveita, viste flere faser med bolighus fra perioden ca. 1100 – ca. 1300, men også mye slagg og andre spor fra metallhåndverk (Bergqvist 1986). I 2012 ble det gjort boreundersøkelser i de indre deler av Schultz gate 8, (TA 2012/25) og det ble også her funnet spor etter metallhåndverk i kulturlag som er karbondatert til 1100-talet.

På tiltaksområdet Munkhaugveita 5 og 7 ble det på ved slutten av 1930-tallet etablert en bensinstasjon og tanker for drivstoff og olje ble lagt under bakken. Anleggsarbeidet ble den gang ikke fulgt opp systematisk av antikvarisk myndighet, men det ble registrert kulturlag i 3 m dypde uten at man nådde naturlig undergrunn (TA 132). I forbindelse med rivning av bensinstasjonen i 2002, ble noe av arbeidet i forbindelse med fjerning av tankere fulgt opp gjennom arkeologisk overvåking, og de store nedgravningene på tomten ble registret og dokumentert (TA 2002/06). Denne gang ble fem av de til sammen nedgravningene gravd opp, og det ble tegnet profiler fra fire av disse. Det synes å være tykke kulturlag fra perioden etter 1537 i mesteparten av området. Intakte kulturlag fra middelalder ble registrert i fire av fem hull, og tykkelsen på disse er antatt å være ca. 0,5 – 1 m. Bevaringstilstanden ble vurdert til å være god til utmerket. I de nordvestre deler ble naturlig undergrunn registrert x – x m under terreng. Overflaten til naturlig undergrunn synes å helle ganske kraftig mot øst, og i vestre del ble den registrert x m under terreng. Naturlig grunn synes å helle ganske kraftig mot øst, og i vestre del av hull 4 ble undergrunn målt til ca. x m under overflaten.

I 2008 ble det foretatt en forundersøkelse (TA 2008/25) i forbindelse med planlagt utbygging av tomten, og kartlegging av kulturlagstykkelse samt forhold for tilstand og bevaring ble gjort med hjelp av grunnboringer (Petersén og Bergersen 2009). Det ble boret til sammen 11 steder i de områder på tomten der man kunne anta at det fantes intakte kulturlag bevart (**Figur 1**). Seks av de elleve boringene viste kulturlag. Borepunkt 1 i sørvestre del av tomten og naturlig grunn bestående av sand ble registrert på 8,7 m.o.h eller 3,8 m under terreng. Over sanden lå et kompakt lag med ren leire. Det ble registrert ca. 1,4 m intakte kulturlag fra 10 m.o.h. Borepunkt nr. 3 i det sørøstre hjørne viste 3,3m med intakte kulturlag under ca 2,2 m med forstyrret masse. Naturlig undergrunn bestod av sand, og

overflaten på ca. 7 m.o.h. Borehull 3 viste likt borehull 1, et tykt lag med ren leire fra ca. 7,7 m.o.h. Forskjellen mellom forhold i borepunkt 1 og 3 var at i sørøst (borepunkt 3) lå det intakte kulturlag mellom leiren og naturlig undergrunn. Undergrunn ble målt til et betydelig dypere nivå både i borepunkt 3 og 4 i det nordøstre hjørne av tomten enn ellers i området. Forholdet kan skyldes at det finnes en større nedgravning i den østre del av tomten som berørt naturlig undergrunn, men det kan ikke utelukkes at nivåforskjellene skyldes naturtopografiske forhold.



Figur 1. Undersøkelsesområdet med fotavtrykket til den tidligere bensinstasjonen (tykk grå strekk), grøfter fra TA2002/06 tegnet og borepunkter 1 - 5 fra TA2008/25 markert med punkt (Petersén og Bergersen 2008).

1.2 Problemstilling og mål for undersøkelsen

Tidligere undersøkelser i 2002 og 2008 (TA 2002/06, TA 2008/25) har vist at det finnes områder med gjenværende intakte kulturlag innenfor tiltaksområdet, til tross for omfattende inngrep uten antikvarisk oppfølging. Det kan ha eksistert kulturlag i opptil 3,5 m tykkelse i området. Opprinnelig undergrunn ligger i den vestre del ca. 3,5 m under terreng, men betydelig dypere ut mot Schultz gate i øst. Det kan ligge intakte kulturlag 1,7 - 2 m under overflaten over en stor del av tomten. Høyere enn dette virker det som kulturlagene i hovedsak ha blitt fjernet i forbindelse med etablering av bensinstasjonen. Bevaringsforhold målt i 2008 skifter fra dårlig til utmerket, men verdier over middels dominerer.

Problemstillinger:

- Hvor stort volum intakte kulturlag fra middelalder er blitt fjernet i forbindelse med tidligere inngrep?
- Hvor stort volum gjenværende intakte kulturlag fra middelalder kan finnes i tiltaksområdet.

- Er tilstand for kulturlag omtrent lik vurderingen fra 2008?

Mål for undersøkelsen:

- Kartlegge forhold for tilstand i det arkeologiske materialet fra kulturlagsprofiler.
- Kartlegge forhold for bevaring i det arkeologiske materialet fra kulturlagsprofiler med hjelp av jordkjemiske analyser.
- Installere og legge til rette for et 5-årig miljøovervåkingsprogrammet som har til hensikt å gi informasjon om bevaringsforhold i området i en periode før bygging som vil kunne sammenlignes med forholdene under og etter at nybygg er oppført.

1.3 Materiale og metoder

Prosjektet er lagt opp som et overvåkingsprosjekt og følger rettingslinjer i Norsk Standard - Kulturminner. Krav til miljøovervåking og –undersøkelse av kulturlag (NS 9451:2009). Feltarbeid ble utført i tråd med godkjent prosjektplan uten avvik. All innmåling ble gjort digitalt av NIKU med bruk av C-POS etter målesystem EUREF89 Sone UTM 32N. Det ble gjort fotodokumentasjon med innmåling av alle eksponerte profilvegger og foto har dannet underlag for profiltegnene. Foto er registret i NIKU fotodatabase med nr. nik_ark_339304 -339322.

1.3.1 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.

Arkeologifaglige definisjoner:

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

Naturlige avsetninger: Det nivå og den masse som er upåvirket av menneskelig aktivitet, og som den menneskelige aktiviteten er etablert over.

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

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

Jordfaglige definisjoner:

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

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

Anaerobe forhold: forhold der luft (oksygen) er fraværende. Ved anaerobe forhold blir organisk materiale oksidert av mikroorganismer som omsetter nitrat, oksidert jern og mangan, sulfat eller

oksidert organisk materiale i stedet for oksygen. I naturlige miljøer er anaerobe forhold ensbetydende med reduserende (reduktive) forhold, men i hvilken grad forholdene er reduserende, varierer.

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

1.3.2 Skala for forhold for tilstand (arkeologfaglig) og bevaring (jordfaglig)

Ved vurdering av tilstand og forhold for bevaring benyttes skalaen i Norsk Standard NS 9451:2009. Skalaen for tilstand (tabell 1) opererer med seks klasser fra 0 (Ingen) til 5 (Utmerket) der bevaringsgraden er bedre jo høyere tall som angis. 0-verdi brukes utelukkende om vurdering ikke lar seg gjøre. Skalaen for bevaringsforhold ved jordfaglige undersøkelser (tabell 2) opererer med fem klasser fra 1 (Elendig) til 5 (Utmerket).

I skalaen finnes i tillegg en bokstavkode som angir plasseringen av strata i forhold til grunnvann. I denne undersøkelse er kategori "A – over/i grunnvann" blitt brukt.

Tabell 1 – Bevaringsskala som angir tilstanden i kulturlaget

Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsgrad					
	0 (Ingen)	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = A	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuerende vann) = B	B0	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = C	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Fyllmasser o.l. senere enn cirka år 1900	D0	D1	D2	D3	D4	D5

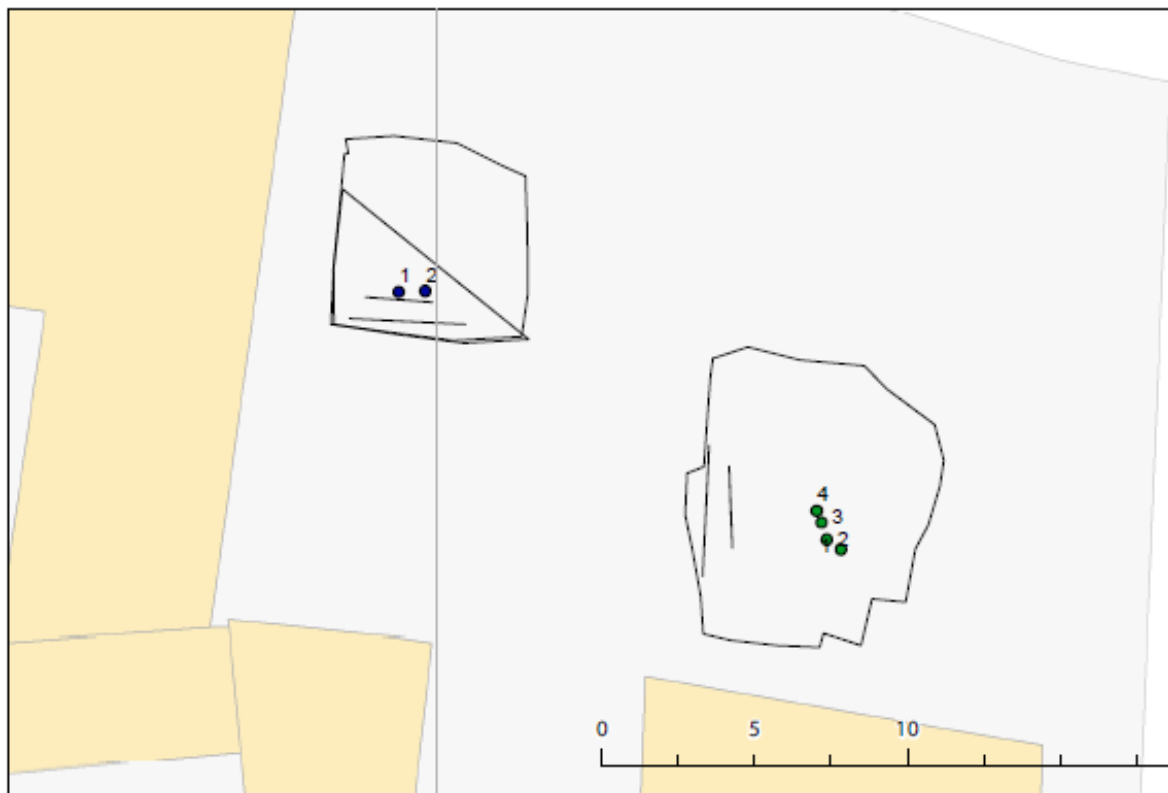
Tabell 2 – Skala for bevaringsforhold ved jordfaglige undersøkelser

Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsforhold				
	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = A	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuerende vann) = B	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = C	C1	C2	C3	C4	C5

2 Arkeologisk feltarbeid

Feltarbeid ble gjennomført av Anna Petersén med bistand av Chris McLees og Julian Cadamarteri, i perioden 10.8 – 14.8 og 2.9 – 3.9. 2015. Entreprenør Søbstad AS utførte det maskinelle gravearbeidet med oppgraving og igjenfylling av undersøkelsesområdene. Fagpersonell fra NIBIO installerte overvåkingsutstyr, datalogger og tok ut jordkjemiske prøver fra kulturlag for analyse av bevaringsforhold. Tilstandsvurdering av kulturlag ble gjort i felt av Anna Petersén.

Undersøkelsene i felt ble konsentrert til to av de fem nedgravinger for drivstofftanker som ble gravd opp i forbindelse med undersøkelsen i 2002, «Hull 1» i vestre del av området, og «Hull 4» i østre del (**figur 3**). Hullene vil i fortsettelsen bli omtalt som Hull 1 og Hull 4 og nummereringen tilsvarer den fra undersøkelsen i 2002 (TA 2002/06). Det ble ikke gravd i intakte kulturlag som var eksponert, og arbeidet var begrenset til undersøkelse og dokumentasjon av kulturlag i profil. Det ble ikke rensset frem større deler av profilveggene enn det som var nødvendig for å kunne ta ut prøvemateriale og for å kunne installere sensorer for miljøovervåking. Det arkeologiske arbeid og dokumentasjon var avsluttet før personal fra NIBIO begynte sitt arbeid. Arkeolog fra NIKU var til stede under NIBIOs arbeid for innmåling av prøvesteder og ved tildekking av profiler og grøfter etter at utstyr for miljøovervåking var satt inn og montert i veggfast skap som ble montert på nordre husvegg tilhørende naboeiendommen i sør med adresse Schultz gate 2 (Gnr/Bnr 400/131).



Figur 3. Oversiktskart med lokalitetens plassering i Trondheim(øverst) og undersøkelsesområdene på eiendommen Munkhaugsveita 5. Hull 1 til venstre og Hull 4 til høyre (NIKU). Kartgrunnlag: Statens kartverk. Geovekst.

2.1 Arkeologisk dokumentasjon, observasjoner og tolkning

2.1.1 Hull 1

Hull 1 var ca. 42,5 m² stort (6,5 x 6,5 m) og var plassert i vestre del av tiltaksområdet. Fyllmassen bestod av bruddstykker av armert betong som antas å ha kommet fra arbeider i forbindelse med demoleringen av bensinstasjonen i 2002, og ble fjernet med gravemaskin. Mot sør og øst var hullet avgrenset av betongmurer som tilhørte bensinstasjonsbygningen. Mot vest blev deler av den opprinnelige grøfteveggen tilhørende hull 1 fra TA 2002/06 eksponert sammen med en del av «Profil 1». Ved ca. 2,5 meters dybde skiftet fyllmassen fra armerte betong til rund småstein (diameter ca. 20 – 30 mm). Ved ca. 3 m dybde ble det funnet kulturlag i bunn av Hull 1. Ved denne nivå piplet det frem vann fra det sørøstre hjørne, og kulturlagene ved denne nivå var myke og våte. I søndre side var muren tilhørende bensinstasjonen ca. 1,5 m dyp og murfundamentet lå direkte på intakte kulturlag. Det var ca. 1,5 m kulturlag under banketten og ned til grøftebunnen. Det ble brukt jordbor i bunn av hull 1, og resultatet viste minst 20 cm med kulturlag, og under disse kom leire som er minst 10 cm tykk. Det lyktes ikke å komme igjennom leirlaget med jordboret, og det er uavklart om leiren representerer topp av naturlig undergrunn eller om leiren er påført. Det ble tegnet profilskisse av kulturlagssekvensene i nordre og søndre grøftevegg. Profil mot sør ble kalt 1:1 og profil mot nord ble kalt 1:2 (*figur 4 og 5*).



Figur 4. Oversikt. Søndre del av Hull 1 med profil 1:1 mot sørvest. Foto: nik_ark_339321.



Figur 5. Oversikt. Nordre del av Hull 1 med profil 1:2 mot nord. Foto: nik_ark_339320.

2.1.1.1 Beskrivelse av stratigrafiske forhold i Hull 1, profil 1:2, mot nord

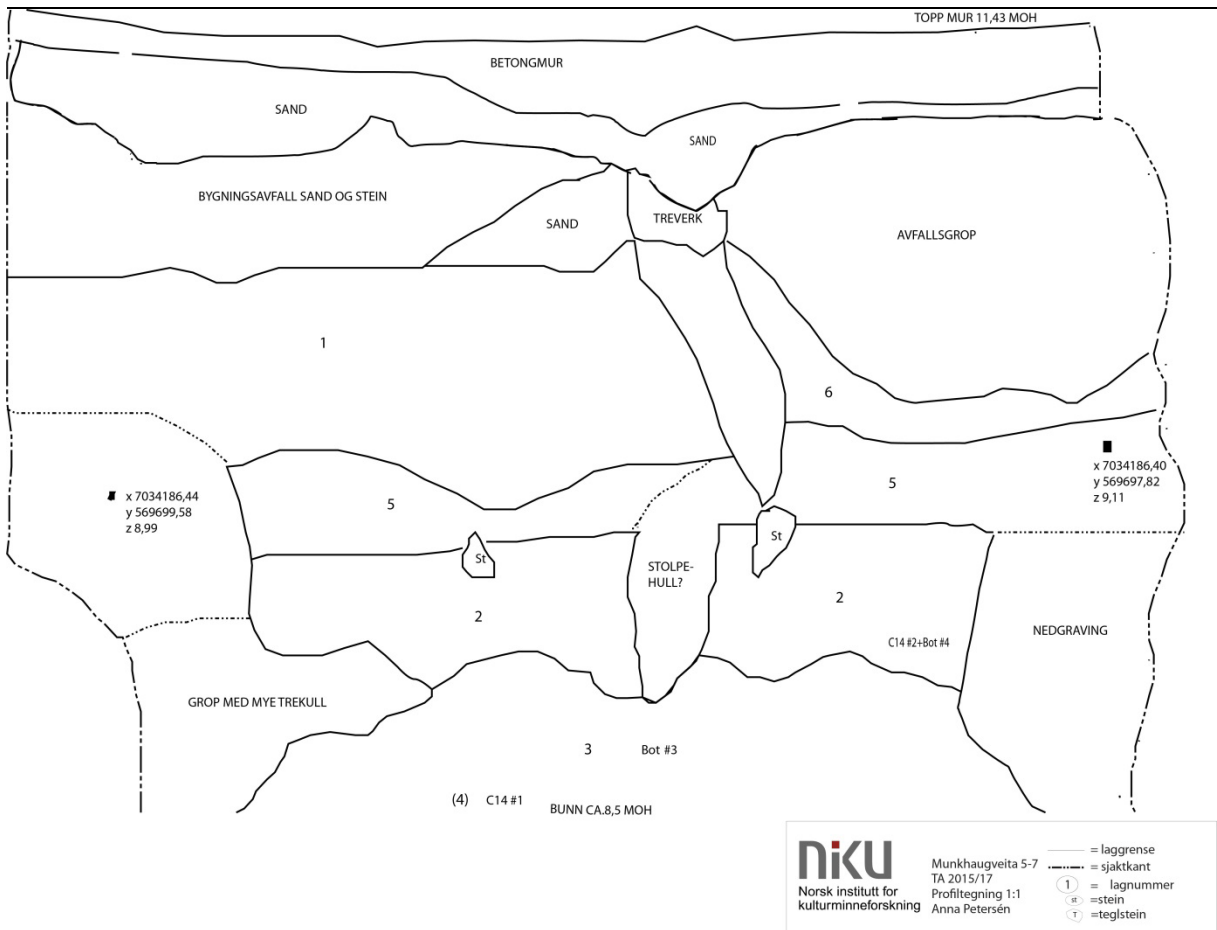
Profil 1:2 i nordre side av Hull 1 var ca. 1,3 m bred og ca. 3 m høy fra terreng og ned til bunn (figur 5). Øvre del av profilen var delt av en 1,5 m dyp nedgraving med rette sider og med rør i bunn. Nedgravingen lå direkte under terreng. Første kulturlag under nedgravingen, (lag 1) bestod av mørkgrå, kompakt sand med tegl og noen keramikkskår som alle var fra nyere tid. Organisk materiale forekom i form av treflis og dyrebein, og begge typer var i dårlig tilstand, (A2). Under dette kom lag 2 som besto av mørkebrun, løst komprimert treflis i horisontal deponering. Treflisene var myke, og tilstanden var meget dårlig (A2). Lag 2 hadde innslag av dyrebein, brent bein, sandlinser, vindusglass og kakkelfliser. Under lag 2, omtrent 2,10 m under dagens overflate lå lag 3 som bestod av mørkgrå, meget kompakt sandblandet silt med spredt innhold av trekull, stein, klebersteinsflis og lyse klumper av leire. Det ble registrert noe dyrebein med myk, morken overflate. Tilstandsverdien med satt til dårlig til middels (A2/A3). Lag 3 var det første lag som oppfattes å tilhøre den middelalderiske aktivitetsperioden. Laget var tykt og kunne følges ned til grøftebunnen. Nederst i profilens vestre side mellom lag 2 og 3 lå lag 4 som bestod av en konsentrasjon med stein og mye trekull og tolket som et mulig ildsted (figur 6). Naturlig undergrunn var ikke synlig i profil 1:2.



Figur 6. Hull 1 med profil 1:2 mot nord. Rester etter ildsted i nedre hjørne til venstre. Foto: niku_ark_339315.

2.1.1.2 Beskrivelse av stratigrafiske forhold i Hull 1, profil 1:1 mot sør

Profil 1:1 mot sør var ca. 2,0 m bred og ca. 2,0 m dyp, målt fra topp av kulturlag under banketten (figur 7). Betongmuren med bankett nederst var ca. 1,5 m dyp, målt fra overflaten. Øvre del inneholdt to avfallsgrøper som var delt fra hverandre av en tømmerstokk. Under gropene fantes et kraftig lag, lag 1, med mørkebrun fet og meget kompakt organisk masse med innslag av tegl og noe stein. Organisk materiale var vanskelig å skille ut og tilstand ble satt til (A2). I vestre del var materialet noe mer sandholdig og løsere komprimert og ble skilt ut som et eget lag, lag 6 og med samme tilstand som lag 1. Under lag 1 og 6 kom ytterligere et tykt lag, lag 5 med mørkegrå, kompakt siltblandet sand. Laget hadde innslag av tegl, stein og trekull (A2). Lag 5 lå over lag 2 som var likt lag 5 i kompakthet, men som til fargen var lysere og inneholdt mer trekull og i tillegg linser med lys leire. Det ble også registrert dyrebein i dårlig forfatning i lag 2 og tilstand ble med grunnlag i tilstand for dyrebein satt til (A2). I nedre del av laget fantes to forsengkninger/nedgravinger, en i østre del og en i vestre del. Det var fylt med samme materiale som ellers i lag 2, men andel trekull var høyere i begge forsengkninger. Under lag 2 fantes et lag, lag 3, med lys beigebrun myk sandholdig silt med noe klebersteinsflis og annen type stein. Laget var spettet med trekull og sot. I bunn av profilen, under lag 3 lå lag 4 som var lik laget over, men som i tillegg inneholdt treflis. Treflisen var myk og svampet og tilstand ble satt til (A2). Lag 4 sammenfalt med bunnlaget i denne del av hull 1. Det ble tatt ut C14-prøver fra lag 2 og lag 4 og jordprøver for botanisk analyse fra lag 2 og lag 3. Naturlig undergrunn kom ikke til syne i profil 1:1.



Figur 7. Hull 1. Foto av profil 1:1 mot sør øverst og rentegning av samme profil nederst. Foto: nik_ark_339316.

2.1.2 Hull 4

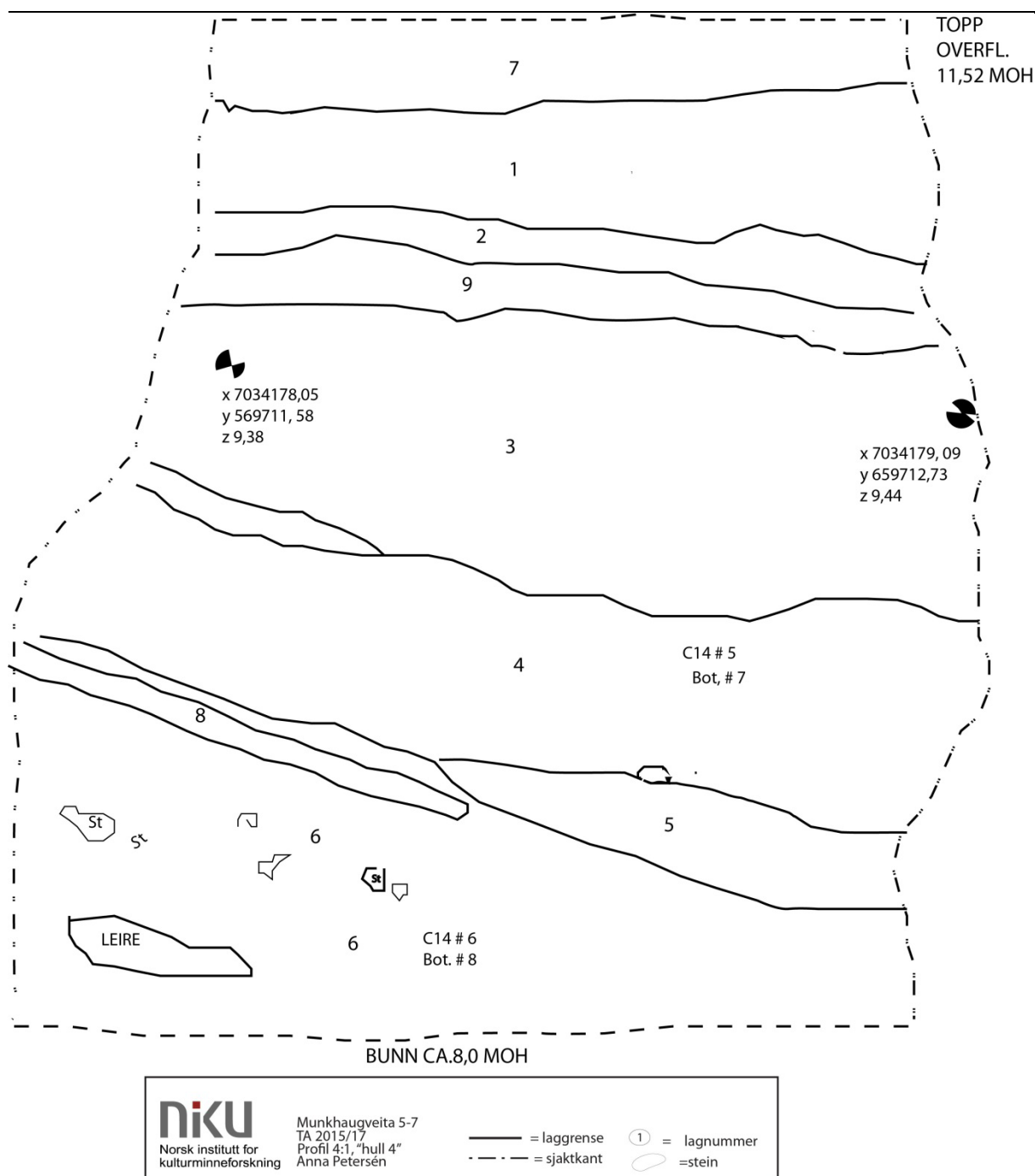
Deler av Hull 4 ble gravd opp med gravemaskin og maskinen fulgte deler av den opprinnelige grøftesiden mot øst fra gravearbeidene i 2002. I vest var Hull 4 avgrenset av en av murene fra bensinstasjonen, og under muren ble deler av profil 4 fra 2002 gjenfunnet med spiker og snor fra profiltegningen fortsatt intakt. Hull 4 var omtrent 76,3 m² stort. Det ble gravd ned til ca. 3,7 m dybde da støtte maskinen på en støpt betongplate med løfteanordning og stropper. Platen kunne ikke løftes og stanset mulighetene for videre graving dypere enn 3,7 m, og naturlig undergrunn ble ikke nådd. En del av grøfteveggen mot øst ble dokumentert sammen med profilen mot vest fra 2002. Profil mot øst ble kalt 4:1 og profil mot vest ble kalt 4:2.

2.1.2.1 Beskrivelse av stratigrafiske forhold i Hull 4, profil 4:1 mot øst

Profil 4:1 var ca. 1,6 m bred og ca. 3,7 m høy (**Figur 8a og b**). Fra terreng og med til ca. 1,9 meters dybde ble det registrert løsmasse bestående av mellombrun tørr og løst komprimert sand, med noe stein og tegl, lag 7. Materialet ble oppfattet som del av utplaneringsmasse av moderne karakter. Første lag under lag 7, var lag 1 som besto av gråbrun, kompakt siltholdig sand med mye leire i klumpform jevnt fordelt i laget. Innslag av stein, trekull og tegl. Tilstand ble satt til (A2). Under 1 kom lag 2 som bestod av medium brun myk organisk masse med mye treflis, ca. 70 %. Treflis var mykt og morkent, og tilstand ble satt til (A2/3). Lag 2 hadde innslag av tegl og noen gjenstandsfunn i form av skår fra fajanse og drikkeglass av type passglas. Under 2 kom lag 9 som bestod av gråbrun kompakt siltholdig sand med spredte trekull, småstein og tegl. Det fantes dyrebein i laget og disse var i meget dårlig tilstand (A2). Under 9 kom lag 3 som besto av brun, myk og klebrig siltholdig sand, med spredte treflis i morken tilstand. Innslag av store dyrebein og enkelte keramikkskår av rødgodstype. Det var forskjeller mellom bevaring av treflis og dyrebein og tilstand ble satt til (A2/A3). Under lag 3 kom lag 4 som besto av middelsgrå kompakt siltholdig, men grovkornete sand. Nedre del av lag 4 var lysere i fargen og mer leirholdig. Det var innslag av jernklumper i korrodert forfatning og noe dyrebein i dårlig tilstand (A1/A2). Lag 4 hadde en markert helling fra nord mot sør. Under 4 kom lag 5 som besto av grov grå sand med småstein og med enkelte større stein. Det fantes leirklumper i laget og spredte trekull. Lag 5 hadde samme helling fra nord til sør som laget over. Under 6 kom lag 6 som besto av mørkgråbrun, kompakt og fuktig siltholdig sand. Laget innhold klebersteinsflis, trekull og dyrebein i dårlig forfatning (A2). I øvre søndre del av lag 6 var det spor etter en horisontal liggende ubrent planke eller stokk, lag 8. Trekvaliteten var meget dårlig. Lag 6 kunde følges ned til den støpte platen i bunn av hull 4.



Figur 8a. Hull 4 med profil 4:1 mot øst. Foto: nik_ark_339317.



Figur 8b. Tegning profil 4:1 i Hull 4.

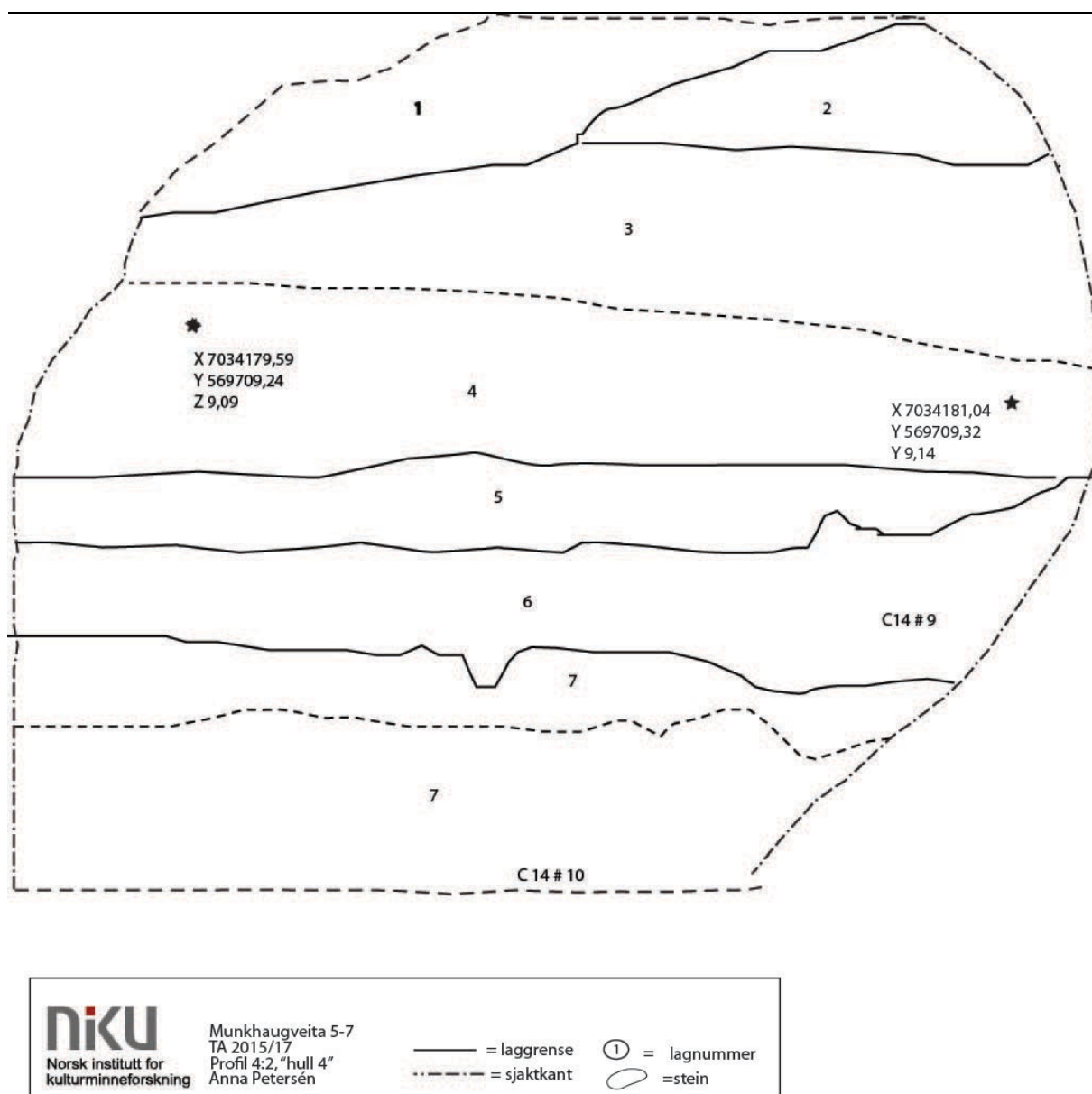
2.1.2.2 Beskrivelse av stratigrafiske forhold i Hull 4 profil 4:2 mot vest

Profil 4:2 var ca. 1,6 m lang og det fantes kulturlag i en høyde av 1,4 m under den støpte, nord-sør gående muren tilhørende bensinstasjonen (**Figur 9**). Lag 1 var det første lag rett under muren. Laget besto av mørkebrun fet masse med organisk innhold. Det fantes treflis i laget og dyrebein, og begge typer var myke og mørkne. Tilstand ble satt til (A2). Lag 2 besto av mørkebrun, porøs sand med lysere sand innblandet. Laget innholdt mye dyrebein i store stykker, og beinene var middels godt bevart (A2/A3). Under lag 2 kom lag 3 som bestod av mørkebrun, meget kompakt masse med noe stein, dyrebein og innslag av dårlig bevarte treflis (A3). Under lag 3 kom lag 4 som var likt laget over, men 4

var lysere i fargen og mer kompakt enn lag 3. Under lag 4 lå lag 5 som besto av lys gråbrun kompakt siltholdig leire med noe klebersteinsflis og noe trekull. Under lag 5 lå lag 6, som besto av kompakt knust kleberstein blandet i noe leirholdig masse. Det fantes enkelte dyrebein i laget og trekull (A2). Andelen trekull var mye større i de nedre deler av lag 6. Lag 7 lå under lag 6 og var det siste lag som ble dokumentert i profilen. Den støpte platen lå inntil lag 7 og ca. 20 cm av laget var synlig over platen. Lag 7 besto av kompakt «skitten», lys grå leire med innslag av stein, dårlig bevarte bein, noe treflis som også var dårlig bevart, samt noe trekull (A2).



Figur 9a. Hull 4 med profil 4:2 mot vest. Profilsnor fra tidligere undersøkelser fortsatt intakt etter avdekking. Foto: nik_ark_339309.



Figur 9bb. Tegning av profil 4:2 i Hull 4.

2.2 Gjenstandsfunn og naturvitenskapelig prøvemateriale

Det ble gjort et enkeltfunn av potteskår fra middelalder ved rensing av kulturlag i Hull 4, profil 4:1. Skåret ble identifisert, dokumentert og kassert i felt (for opplysning se lagliste i vedlegg). Analyserte C14-prøver som er sendt til analyse er ikke registrert i MUSIT-databasen. I prosjektplanen var det foreslått å ta ut jordprøver for makro- og pollenanalyser fra lag nærmest naturlig undergrunn for informasjon om karakteren til den eldste vegetasjonen i området. Det ble tatt ut prøver fra profilene i forbindelse med feltarbeid, men da det viste seg at man ingen steder nådde ned til naturlig undergrunn, og at avstanden mellom nedre lag i profilene og antatt høyde for naturlig grunn kunne være 0 – 1,5 m, ble botaniske analyseresultater vurdert som mindre relevant for denne undersøkelse, og ingen prøver ble sendt til analyse. C14-prøver er analysert av Nasjonallaboratoriet

for radiologiske dateringer, NTNU NLD. Vedartsidentifisering er gjort ved samme institusjon (tabell 3).

2.2.1 Radiologiske dateringer

Det ble sendt inn fire prøver til 14C datering og vedartsidentifisering. Materialet i samtlige var trekull. Alder på dateringer viste yngre jernalder og middelalder.

Tabell 3. Oversikt 14C dateringer

NTNU lab.nummer	Alder BP	1 sigma	Kalibrert alder AD (2 sigma)	Prøvemateriale	NIKU Kontekst
Tra 10598	1200	15	772 - 881	Bark	Profil 1:1, lag 4
Tra 10599	425	10	1400 - 1467	Trekull <i>Populus sp.</i>	Profil 4:1, lag 4
Tra 105600	775	15	1223 - 1274	Trekull, (<i>Betula</i>)	Profil 4:1, lag 6
Tra 105601	825	15	1180 - 1259	Trekull, (<i>Betula sp.</i>)	Profil 1:1, lag 2

2.2.2 Sammenfatting av arkeologiske observasjoner og tilstandsvurdering i Hull 1 og Hull 4

Hull 1 lå i vestre del av området, nært en husvegg til Munkhaugveita 7 og Hull 4 lå i østre del av området mot Schultz gate. Ytterkant mot øst til Hull 1 og ytterkant mot vest til Hull 4 lå omtrent 6,5 m fra hverandre. Det ble registrert tykke avsetninger fra perioder etter 1537 i profilene fra begge hull, og avfallsgroper fra samme periode i profil 1:1 mot sør. Kulturlag med tydelig middelaldersk karakter ble funnet i samtlige profiler, men dypt ned i sekvensene ca. 2 – 2,3 m målt fra terreng. De intakte kulturlagene var massive og kraftige i tykkelse. Det dypeste nivå der kulturlag ble registrert var 8 m.o.h., og ikke noe sted ble naturlig undergrunn registrert. Det ble registrert forskjellige stratigrafiske sekvenser i og mellom de to hullene, og det virker som om aktiviteten i området har variert over forholdsvis korte avstander. Det var få spor etter konstruksjoner som kan knyttes til bebyggelse, men det ble funnet rester etter et mulig ildsted i det nordvestre hjørne av profil 1:2 og liggende treverk i det nordøstre hjørne av profil 4:1. Fra det vi har kunnet registrere, virker det å ha vært repetitive sekvenser med oppfyllinger der siltholdig sand, leire eller klebersteinsflis blitt brukt, sannsynligvis med hensikt å skape nye aktivitetsflater. Eksempel på dette finnes både fra begge hull. Det ble ikke funnet tydelige spor fra metallhåndverk, for eksempel i form av slagg, brent sand, brent leire eller groper, men i denne sammenheng er det viktig å nevne at det ikke ble gravd ned til naturlig undergrunn i noen av hullene, og informasjon fra de nedre deler av kulturlaglagsekvensene mangler. De absolutte dateringene viser aktivitet i området fra yngre jernalder til seinmiddelalder. Kulturlagene synes i liten grad å representere spor av bebyggelse og bebyggelsesaktivitet i middelalderen, og det virket i stedet som et område primært brukt for annen aktivitet enn bosetting, muligens metallhåndverk eller agrar aktivitet. Det tas dog forbehold for tolkning av aktivitet med utgangspunkt i dokumentasjon av kulturlag fra profil. Tilstand ble vurdert etter forekomst av synlig organisk materiale i de individuelle kulturlagene som tre, treflis og dyrebein, og tilstanden er overlag dårlig til middels (A2/A3).

2.3 Kommentar til kulturlagsvolum i hull 1 og hull 4 basert på opplysninger fra TA 2002/06, TA 2008/25 og TA 2015/17

Undersøkelsen i 2015 benyttet eksisterende nedgravinger der det tidligere blitt samlet inn arkeologiske opplysninger, for dokumentasjon av arkeologiske forhold og for installering av miljøovervåkingsutstyr. I forbindelse med rivning av beinstasjonen og sanering av området i 2002, blant annet fjerning av tanker for drivstoff, ble det gjort registreringer av kulturlag i profil fra flere av de store nedgravinger på eiendommen, blant annet fra «hull 1» i vestre del mot Munkhaugveita 7, og «hull 4» i østre del mot Schultz gate (TA 2002/06) (figur 1). I tillegg gir grunnboringer fra 2008 (TA 2008/25), opplysninger om kulturlagstykkelse og nivå for naturlig grunn i området.

Flere av grunnmurene for den tidligere bensinstasjonsbygningen ble fremgravd i 2015, og omrisset av den tidligere bygningsmassen med de store nedgravningene er vist på figur 1. Murfundamentene går ned ca. 1,5 m under terreng og det er i overensstemmelse med de mål som ble gjort i 2002 (TA 2002/06). Med utgangspunkt i forholdet mellom dybden til murfundamentene og målt topp høyde for intakte kulturlag mener vi at det er lite sannsynlig at graving for grunnmurene på 1930-tallet gjort inngrep i kulturlag fra middelalder. Situasjonen er dog annerledes med nedgravningene for de store tankene for drivstoff, hull 1-4. Her er kulturlag fra middelalder er blitt fjernet i stort omfang, men dette er gjort før 1978 da Lov om Kulturminner trådte i kraft og dermed ikke ulovlig.

Opplysninger knyttet til høyder over havet hentet fra TA 2002/06 har vist seg å ikke være sammenlignbare med de fra 2015, og det skyldes usikkerhet knyttet til hvilket innmålingssystem for z-verdier som brukt i 2002. Uten å kjenne til dette kan konvertering av data mellom forskjellige systemer bli misvisende. Men informasjon fra profiltegninger og metriske forhold med utgangspunkt i overflate og bunn og tykkelsen på kulturlag fra TA 2002/06 kan benyttes som sammenligningsgrunnlag.

I 2015 ble topp kulturlag i bunn i hull 1 som målte 42,5 m² registrert på ca. 8,4 m.o.h. etter at singel fra 2002 brukt som igjenfylling var fjernet. Topp intakt kulturlag med absolutt datering til middelalder ble registrert på ca. 9 m.o.h. Det betyr at 0,6 m intakte kulturlag tilsvarende 21 m³ mangler i hull 1. Fra de opplysninger som finnes fra 6 fra hull 1 fra TA 2002/kan vi si at det i 2002 var tydelig at minimum 6 m³ av intakte kulturlag var blitt fjernet ved graving for drivstofftanken, uten at den konklusjonen ble presentert i rapporten. Med utgangspunkt i dokumentasjon fra 2015 kan det estimerte tapet av 21m³ intakte kulturlag oppfattes som en minimumsberegning.

Hull 4 øst på eiendommen sammenfalt helt og holdent med hull 4 fra undersøkelsene i 2002. I 2002 ble nedgravningen til hull 4 ble målt inn og grøfteveggen mot vest under en av bensinstasjonens grunnmurer ble tegnet. I rapporten til TA 2002/06 vises det til en tidligere undersøkelse fra 1992 (TA 1992/9) da samme grøfteveggen ble dokumentert, men rapport tilhørende TA 1992/9 er ikke gjenfunnet i RAs arkiv, og det er knyttet usikkerhet til om profiltegningen i rapporten til TA 2002/06 er fra denne undersøkelse eller fra TA 1992/9.

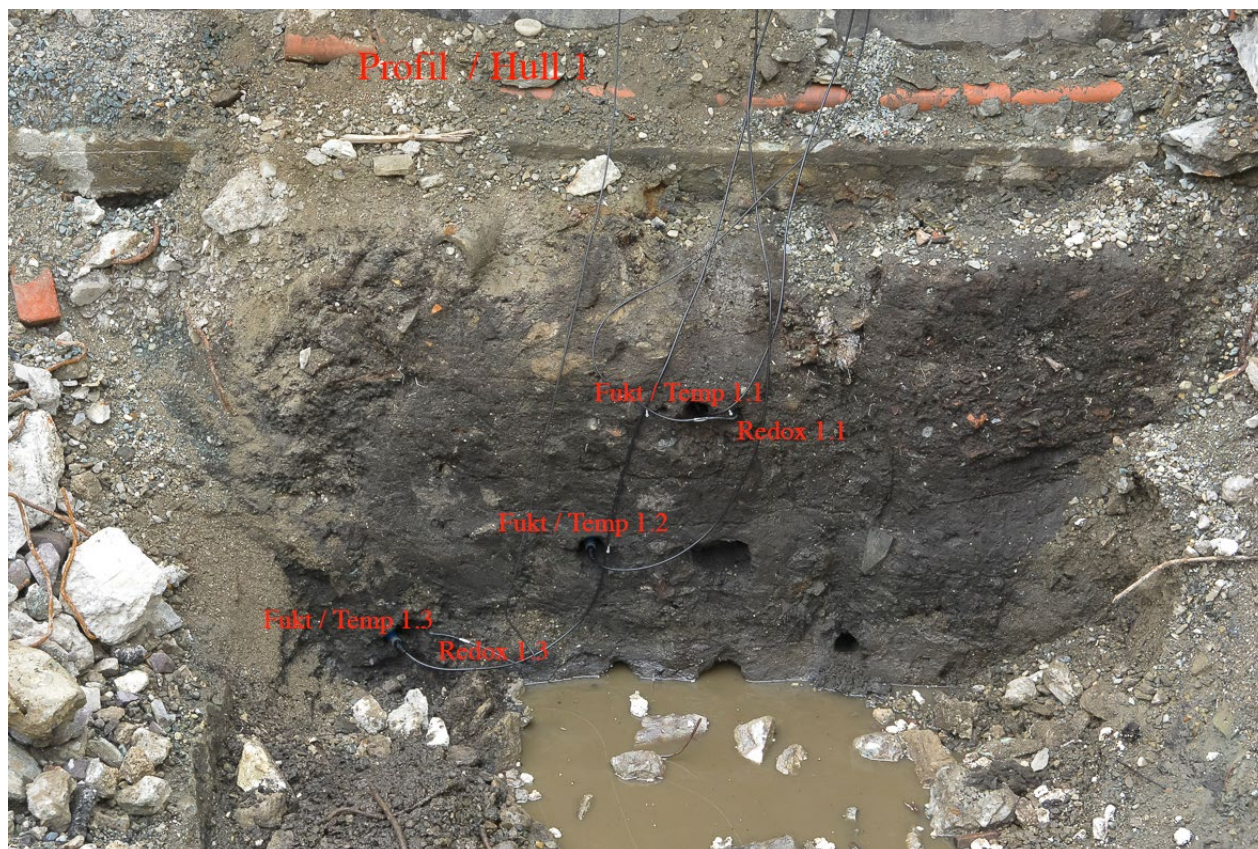
I 2015 ble et ca. 76,3 m² stort hull gravd opp med maskin, og størrelsen samsvarer i stort sett med hullet fra 2002. I bunn av hullet lå en støpt betongplate som ikke var mulig å fjerne. Platen lå omtrent 3,7 m under overflaten, ca. 8 m.o.h. Samme plate ble registrert i 2002. I borepunkt 3 (TA 2008/25) sør for hull 4 ble naturlig grunn registrert ca. 7 m.o.h. Intakte kulturlag ble i 2015 registrert omtrent 9

m.o.h. Det betyr at det kan ha blitt fjernet ca. 282 m³ med kulturlag i Hull 4, og av disse kan vi estimere at minimum ca. 76 m³ av dette volum var intakte kulturlag.

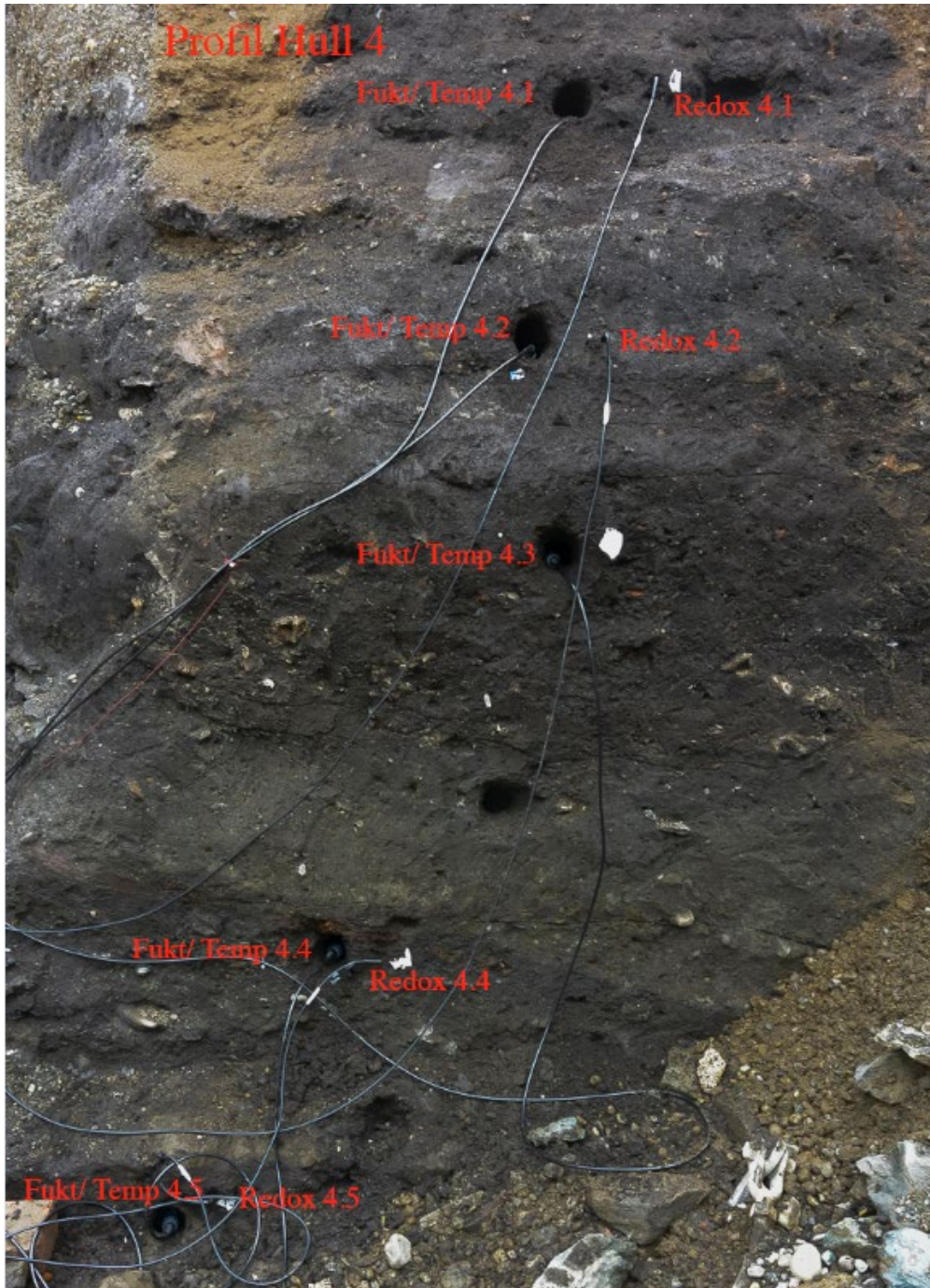
2.4 Feltarbeid i forbindelse med jordfaglig arbeid og installasjon av måleutstyr for miljøovervåkingsprogram

Feltarbeid i forbindelse med installering av miljøovervåkingsutstyr ble utført 2 -3 september 2015 av personal fra NIBIO og med bistand av Chris McLees, NIKU. Plan for plassering av sensorer for måling av parameterne redoks, temperatur og fuktighet var gjort i forkant av Anna Petersén.

Kulturlagsprøver for jordkjemisk analyse ble tatt ut av Ove Bergersen, NIBIO. Sensorer ble plassert i profil 4:1 mot øst i «hull 4», og i profil 1:1 mot sør i Hull 1 (**Figur 10 og 11a-b**). I Hull 1 ble de nedre sensorene plassert noe høyere enn opprinnelig planlagt fordi bunnen av Hull 1 ble fylt med dieselblandet vann som sannsynlig kommer fra et ødelagt rør under den nedrevne bensinstasjonen. Hull 1 ble pumpet fritt fra vann før installasjon, men det var jevnt tilsig av vann etter pumping.



Figur 10. Oversikt over plassering av sensorer i profil 1:2, Hull 1. Foto: NIBIO.





Figur 11 a og b. a) Hull 4 profil 1 med sensorer (over) og plassering ref. elektrode (under). b) Plassering ref. elektrode for redoks målinger ble valgt i representativt lag 4.2. Foto: NIBIO.

Kabler fra sensorerne i profil 4:1 og profil 1:1 ble lagt i rør, og rørene ble gravd ned ca. 0,4 m under dagens overflate og kablene ble ført frem og tilkopleet dataloggeren i skap er montert på husvegg mot sør. Alt utstyr og at det var kontakt med datalogger ble kontrollert før Hull 1 og Hull 4 ble fylt igjen (**Figur 12 a og b**). Rørføringen ble målt inn med GPS av graveentreprenør Søbstad AS.



Figur 12a og b. a) Skap med datalogger montert på husvegg, b) grøft med kabler i rør. Foto: NIBIO.

2.4.1 Avbøtende tiltak, tildekking

Det ble brukt bentonittduk for tetting av de kulturlagsprofiler der målesensorer var satt inn (**Figur 13 og 14**). Duken veier i tørr tilstand 5 kg per m², og tung å håndtere. I Hull 4 ble duken løftet og heiset på plass med hjelp av gravemaskin. Etter at duken var på plass ble det forsiktig fylt på med sand, også dette arbeid ble gjort med gravemaskin. Sanden ble godt komprimert mot duken. I tillegg til gravemaskinføreren var det nødvendig med to personer i arbeid for å kunne montere duken. Ved siden av bruk av bentonittduk på overvåkingsstedene, ble det lagt kraftig geotekstilduk langs med sidene i Hull 1 og Hull 4 samt i bunn av Hull 1.



Figur 13. Hull 4 dekkes til med bentonitt-duk, geotekstil og til slutt sand. Foto: NIBIO



Figur 14. Hull 1 under tildekking med bentonitt-duk, geotekstil og sand. Foto: NIBIO

2.5 Arkeologfaglig vurdering av forhold for tilstand for kulturlag i profil (NIKU)

Det ble gjort tilstandsvurdering av samtlige kulturlag som ble identifisert og dokumentert i Hull 1, profil 1:1, 1:2, og i Hull 4, 4:1 og 4:2. Vurderingen følger tabell 1 i NS 9451:2009. Alle kulturlag tilhører klasse «A» - over grunnvann. Ved vurdering er det tatt utgangspunkt i synlig organisk materiale som tre, treflis og dyrebein, samt i uorganisk materiale i form av jern. Lukt og hastighet i fargeforandring ved rensing er også tatt med i vurderingen. I de tilfeller der kulturlagene manglet synlig organisk materiale ble verdien satt til «A0». Med få unntak ble kulturlagene vurdert til «A2 –dårlig». Alle former av tre som ble funnet - treflis og større stykker, var myke og svampete og trematerialet var kommet langt i nedbrytningsprosessen. Dyrebein ble registrert i mange av kulturlagene og i varierende størrelse, men i de aller fleste tilfeller var beinene myke og med tydelige tegn til nedbryting.

2.6 Jordfaglige forhold og vurdering (NIBIO)

2.6.1 Kjemiske analyseparametere

I rapporten beskrives bevaringsforholdene i kulturlagene ut fra generell analyse: Grunnleggende parametere (S1) og miljøparametere (S2) i henhold til Norsk Standard (NS 9451:2009). Alle prøver ble analysert etter S2 analyseparametere (**Tabell 4**). NIBIO refererer i tekst og tabell til prøver fra Hull 1 og Hull 4 på følgende måte: nummer på hull, profilnummer/nummer på kulturlag. For eksempel Hull 4, profil 1, lag 4 skrives som 4.1/4.

S1 Grunnleggende parametere

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.

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

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

S2 Miljøparametere

Analysen i henhold til analysepakke S2 inkluderer S1 analyser i tillegg til følgende uorganiske parametere:

Bestemmelse av to- og treverdige jern (Fe II, Fe III): Jern (II) og jern (III) bestemmes i henhold til en metode utviklet av Stookey (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 mineralene *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 (se vedlegg).

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 (se vedlegg).

Tabell 4. Konsentrasjonsnivåer for parameter fra S2 analysepakke som danner grunnlag for vurdering av bevaringsforhold ut fra kjemisk analyse.

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

2.6.2 Vurdering av bevaringsforhold ut fra fysiske og kjemiske analyser

Analyseresultatene fra de ulike profiler er vist i ulike tabellene 5-7 (**Tabell 5-7**). Tabell 5 gir en kort oversikt over vurdering av bevaringsforholdene i prøvene. Vurderingen er utformet på grunnlag av resultater vist i tabell 6 og 7. Disse tabellene viser fysiske forhold og kjemiske måleresultater fra laboratorieanalysene. Tabell 5 viser også en vurdering av bevaringsforholdene for uorganisk og organisk materiale i alle prøvene. Tabell 8 gir en oversikt over plassering av sensorer for måling av redoksforhold, fukt og temperatur (**Tabell 8**).

2.6.3 Vurdering av prøvene fra profil 1 hull 4

Detaljer av analysedataene fra profil 1, hull 4 er vist i tabellene 3-4 og viser at det ble funnet kulturlag med både lavt og middels innhold av organisk materiale. Kulturlagene fra lokalitetene 4.1/2, 4.1/5 og 4.1/6 har lavt innhold av organisk materiale. Alle kulturlagene i profil 1 hull 4 har middels vanninnhold med unntak av 4.1/5 som hadde lavt. Ledningsevnen var lav og pH nøytral i hele profil 1 hull 4, (Tabell 5).

Redoksforholdene var oksiderende i kun to kulturlag 4.1/2 og 4.1/5 som begge hadde lavt organisk innhold. Her var det mer jern(III) i forhold til jern(II). Andel jern(II) beregnet i prosent varierte fra 12 til 18 % (Tabell 6). Konsentrasjoner av nitrat var også noe høyere enn ammonium i prøvene. Sulfidkonsentrasjonen ble ikke analysert på grunn av oksiderende forhold. De øvrige kulturlag i denne profil viste reduserende forhold. I kulturlag 4.1/3 ble det påvist antydning til oksidering av jern(II) til jern(III).

2.6.3.1 Bevaringsforholdene i kulturlagsprøver fra profil 1 hull 4

Bevaringsforholdene for organisk materiale var middels (A3) og bra (A4) i prøvene fra kulturlag 4.1/3, 4.1/4, 4.1/6, og 4.1/7, men dårlig (A2) i prøve 4.1/2 og 4.1/5. Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale var middels bra i alle kulturlag pga. nøytral pH og lav ledningsevne som vil bevare metallgjenstander og bein.

2.6.4 Vurdering av prøvene fra profil 1 hull 1

Detaljer av analysedataene fra Hull 1 profil 1 er vist i tabellene 5-7 og viser at det ble funnet kulturlag med både lavt og middels innhold av organisk materiale. Kulturlagene fra 1.1/1 og 1.1/5 (prøve 1.3) har middels innhold av organisk materiale, mens 1.1/3 og 1.1/5 (prøve 1.4) har lavt innhold av organisk materiale. Alle kulturlagene i profil 1 hull 1 har middels vanninnhold. Ledningsevnen var lav og pH nøytral i hele profil 1 hull 1 (Tabell 5).

Tabell 5. Kortfattet vurdering av bevaringsforhold fra ulike prøver fra profil 1 hull 1 og 4 etter S2 analyse.

Prøver	Dyp (moh)	Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
Profil Hull 4					
4.1	10.10	4.1/2	Lavt org. - middels vanninnhold	Nøytal og lav	Oksiderende
4.2	9.62	4.1/3	Middels org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Reduserende til oksiderende
4.3	9.10	4.1/4	Middels org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
4.4	8.34	4.1/6	Lavt org. - middels vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
4.5	7.88	4.1/7	Middels org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
4.6 Ref.	8.57	4.1/3	Lavt org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Oksiderende
Profil Hull 1					
1.1	9.10	1.1/1	Middels org. - og vanninnhold	Nøytal og medium	Reduserende til oksiderende
1.2	8.75	1.1/3	Lavt org. - middels vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
1.3	8.63	1.1/5	Lavt org. - middels vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
1.4 *	8.63	1.1/5	Lavt org. - middels vanninnhold	Nøytal og lav	Oksiderende

* Diesel forurensset

Tabell 6. Kjemiske forhold i prøver hentet fra Profil 1 Hull 1 og 4 etter S2 analyse.

Prøver	Dyp		Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammonium-N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
	(moh)	Lag							
Profil1 Hull 4									
4.1	10.10	4.1/2	2.1	2.9	944	n.d.	29	210	12%
4.2	9.62	4.1/3	0.7	1.4	164	56.5	200	333	38%
4.3	9.10	4.1/4	0.7	49.7	660	29.9	322	53	86%
4.4	8.34	4.1/6	0.7	26.7	467	70.1	411	40	91%
4.5	7.88	4.1/7	0.8	14.0	1291	65.7	274	46	86%
4.6 Ref.	8.57	4.1/3	3.7	1.6	201	n.d.	62	273	18%
Profil1 Hull 1									
1.1	9.10	1.1/1	0.8	44.6	2324	34.4	51	108	32%
1.2	8.75	1.1/3	0.7	25.2	1902	157.3	367	24	94%
1.3	8.63	1.1/5	0.7	5.4	3674	138.1	231	67	78%
1.4 *	8.63	1.1/5	0.6	4.3	608	111.2	384	95	75%

n.d. not detected

* Diesel forurenset

Redoksforholdene var reduserende på grunn av tilstedeværelse av jern(II) i forhold til jern(III) i alle kulturlagene (Tabell 6). Andel jern(II) beregnet i prosent var noe lavere i de øvre lag enn i de underliggende lag hvor prosentvis andel var 75-94 %. Konsentrasjoner av nitrat var betydelig lavere enn ammonium i alle prøvene (Tabell 6). Sulfidkonsentrasjonen var også høyere sammenlignet med profil 1 hull 4.








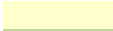



2.6.4.1 Bevaringsforholdene i kulturlagsprøver fra Profil 1 Hull 1

Bevaringsforholdene for organisk materiale var bra (A4) i prøver fra profil 1 hull 1 med unntak av øvre del hvor sensorene 1 ble satt inn og hvor bevaringsforholdene var middels bra (A3).

Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale i prøvene fra profil 1 hull 1 var middels bra i hele profilen.

Tabell 7. 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 (moh)	Lag	Tørrestoff (%)	Organisk materiale (%)	Vann innhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								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

2.7 Miljøovervåkingsprogram

Miljøovervåkingsprogrammet er utarbeidet av NIKU og NIBIO. Overvåkingens varighet er satt til 5 år fra oppstart i forbindelse med feltarbeid 2015. Statusrapporter fra hvert måleår leveres årlig av NIBIO, og sluttrapport etter siste måleår er avsluttet vil bli levert av NIKU og NIBIO.

Tabell 8. 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	Merknader ved prøvetaking	Sensor verdier 20- 30 cm inn	Felt målinger nær kanten
Kobling 1	Redox	4.1	10.15	4.1/2	oksiderende	389 mV	
Kobling 2	Redox	4.2	9.56	4.1/3		15 mV	
Kobling 3	Redox	4.4	8.36	4.1/6	reduserende	-285 mV	
Kobling 4	Redox	4.5	7.99	4.1/7	reduserende	-329 mV	
Kobling 5	Redox	1.1	9.26	1.1/1	oksiderende	276 mV	
Kobling 6	Redox	1.3	8.59	1.1/5	reduserende	-273 mV	
Kobling 7	Temperatur	4.1	10.10	4.1/2		12 °C	
Kobling 8	Fuktighet	4.1	10.10	4.1/2		35.5%	41%
Kobling 9	Temperatur	4.2	9.62	4.1/3		11.7 °C	
Kobling 10	Fuktighet	4.2	9.62	4.1/3		37.5%	36%
Kobling 11	Temperatur	4.3	9.10	4.1/4		12 °C	
Kobling 12	Fuktighet	4.3	9.10	4.1/4		40.0%	38%
Kobling 13	Temperatur	4.4	8.34	4.1/6	Sterk sulfid lukt	10.9 °C	
Kobling 14	Fuktighet	4.4	8.34	4.1/6	Sterk sulfid lukt	44.4%	53%
Kobling 15	Temperatur	4.5	7.88	4.1/7	Sterk sulfid lukt	11.3 °C	
Kobling 16	Fuktighet	4.5	7.88	4.1/7	Sterk sulfid lukt	45.8%	49%
Kobling 17	Temperatur	1.1	9.10	1.1/1		13.2 °C	
Kobling 18	Fuktighet	1.1	9.10	1.1/1		45.8%	41%
Kobling 19	Temperatur	1.2	8.75	1.1/3	Soft Lys brun masse	13 °C	
Kobling 20	Fuktighet	1.2	8.75	1.1/3	Latrine ??	48.3%	49%
Kobling 21	Temperatur	1.3	8.63	1.1/5		12.3 °C	
Kobling 22	Fuktighet	1.3	8.63	1.1/5		72.0%	54%
Ref elektrode	Redox	Høyre 4.2	8.57	14.1/3			

3 Sammenfatting

På eiendommen Munkhaugveita 5-7, Trondheim ble det i 2015 gjennomført en arkeologisk og jordfaglig undersøkelse med kartlegging av forhold for bevaring og tilstand og etablering av et miljøovervåkingsprogram. Sensorer for utstyr for måling av redoks, temperatur og fukt ble installert i to kulturlagsprofiler i den vestre og østre del av eiendommen og tilkopledd datalogger i skap. Arbeidet er utført av NIKU og NIBIO. Eiendommen ligger innenfor det automatisk fredete kulturminne «Middelalderbyen Trondheim», (Askeladden Id. 90288). På 1930-tallet ble det etablert en bensinstasjon på eiendommen. Det er tidligere i 1992 og i 2002, gjort punktvis arkeologisk dokumentasjon i form av arkeologisk overvåking med profildokumentasjon i forbindelse med fjerning av nedgravde tanker for drivstoff. I 2008 ble det gjort en arkeologisk forundersøkelse med kartlegging av kulturlagsforhold med hjelp av boring. Med bakgrunn i de arkeologiske registreringer som er foretatt, kan man konkludere kulturlag er bevart mellom store nedgravninger og under bygningsrestene, men det i forbindelse med etablering og drift av bensinstasjonen er gjort store

inngrep i intakte kulturlag fra middelalder, dog før lov om kulturminner fra 1978 trått i kraft og dermed ikke ulovlig.

Det ble gjort arkeologiske og jordfaglige undersøkelser fra kulturlag i profil fra to eksisterende grøfter, kalt Hull 1 og Hull 4 i ulike deler av tomten. Profil 4:1 mot Schultz gate i Hull 4 var ca. 3, 7 m høy. Kulturlag fra middelalder ble registrert fra og med ca. 9 m.o.h. og ned til profilbunn, ca. 8 m.o.h. men naturlig undergrunn ble ikke nådd. Profil 1:1 i Hull 1 mot sør i vestre del av tomten var ca. 2,9 m høy. Kulturlag fra middelalder ble registrert fra ca. 9 m.o.h. og ned til profilbunn ca. 8,5 m.o.h., og naturlig undergrunn ble ikke nådd. Både i Hull 1 og Hull 4 finnes det kulturlag over naturlig undergrunn bevart.

3.1.1 Arkeologfaglig vurdering av tilstand

Tilstanden på kulturlagene fra Hull 4 profil 4:1 ble i henhold til skalaen i Norsk Standard 9451:2009 vurdert som dårlige til middels «A2/3», og tilstanden på kulturlagene fra Hull 1 profil 1:1 ble vurdert som dårlig til middels (A2- A3). Vurdering av tilstand er omtrent lik mellom undersøkelsen av kulturlag i boreprøver i 2008 (TA 2008/25) og den som ble gjort nå i 2015.

3.1.2 Jordfaglig vurdering av bevaringsforhold

Kartleggingen av bevaringsforhold fra jordkjemisk analyse viser gode bevaringsforhold i kulturlagene. Dokumentasjonen baserer seg på undersøkelser i to profiler i Hull 1 og Hull 4.

Jordprøver fra Hull 1 viser middels innhold av organisk materiale i lag 1-1/1 (10,1 m.o.h) og middels bevaringsforhold for organisk materiale. Nedenfor dette kulturlag fra 8,8 m.o.h. var bevaringsforholdene bra for innholdet av lavt organisk materialet. Vanninnholdet var middels i hele profilen. For uorganisk materiale var bevaringsforholdene middels gode med pH omkring nøytral. I øvre og nedre del av Hull 1 ble det påvist noe høyere verdier for ledningsevne. Hull 1 hadde sterk lukt av dieselforurensing, sannsynligvis noe som kommer fra tidligere virksomhet med bensinstasjon og nedgravde drivstofftanker.

Jordprøver fra Hull 4 har lavt innhold av organisk materiale med unntak av lag 4.1/6 and 4.1/7 hvor innholdet var noe høyere. Hele profilen hadde middels vanninnhold. Kulturlagene viser gode bevaringsforhold for organisk materiale fra 9.6 ned til 7.9 m.o.h. For uorganisk materiale er det middels bevaringsforhold siden pH er nøytral med lav ledningsevne.

3.1.3 Forskjeller mellom verdier for forhold for tilstand og bevaring

Forhold for tilstand av kulturlag i hull 1 og 4 har gjennomgående fått lavere verdier enn den jordfaglige vurderingen av bevaringsforhold, og det er avvik mellom forhold for tilstand og bevaring. Dette kan forklares ved at kulturlagene hadde høy andel minerogene komponenter og små mengder synlige organiske komponenter (tre og bein), og små mengder metall ble funnet. Slike forhold gjør vurdering av tilstand krevende. Dersom kulturlagene hadde vært 100% minerogene kunne tilstandsverdiene blitt satt til 0 (*ingen bevaring*). Men forekomst av noen, om enn få organiske komponenter i kulturlaget stiller krav til at en vurdering gjøres. I dette tilfelle ble tilstand satt til dårlig til middels med grunnlag i trekvaliteten til de synlige trefibrer som ble registrert. Da forholdene for bevaring gjennomgående var gode, kan det tyde på kulturlagene på lokaliteten opprinnelig ikke har hatt særlig større mengde organisk materiale enn det som ble registret i 2015.

4 Konklusjon

- I Hull 1 og i Hull 4 ble det funnet kulturlag fra middelalder fra og med ca. 9 m.o.h. Naturlig undergrunn ble ikke nådd i noen av hullene, og det kan være ca. 0,5 m med intakte kulturlag bevart i begge hull.
- Tilstandsvurderingen av kulturlag viser dårligere tilstand enn det bevaringsforholdene har vist, men bevaringsforholdene er gode og er omtrent tilsvarende med de fra 2008 (TA 2008/25). Det har ikke blitt dårligere forhold for bevaring i perioden 2008 – 2015.
- Kartleggingen av bevaringsforhold fra jordkjemiske analyser viser gode bevaringsforhold i kulturlagene. Dokumentasjonen baserer seg på undersøkelser i to profiler i hull 1 og Hull 4.
- Jordprøver fra Hull 1 viser middels innhold av organisk materiale i lag 1-1/1 (10.1 m.o.h) og middels bevaringsforhold for organisk materiale. Nedenfor dette kulturlag fra 8.8 m.o.h. var bevaringsforholdene bra for organisk materiale. Vanninnholdet var middels i hele profilen. For uorganisk materiale var bevaringsforholdene middels gode med pH omkring nøytral. I øvre og nedre del av Hull 1 ble det påvist noe høyere verdier for ledningsevne. Hull 1 hadde sterk lukt av dieselforurensing, sannsynligvis noe som kommer fra tidligere virksomhet med bensinstasjon og nedgravde drivstofftanker.
- Jordprøver fra Hull 4 har lavt innhold av organisk materiale med unntak av lag 4.1/6 and 4.1/7 hvor innholdet var noe høyere. Hele profilen hadde middels vanninnhold. Kulturlagene viser gode bevaringsforhold for organisk materiale fra 9.6 m.o.h og ned til 7.9 m.o.h. For uorganisk materiale er det middels bevaringsforhold siden pH er nøytral med lav ledningsevne.

5 Referanser

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

Brock, T.D. 2006. Biology of microorganisms. 11ed. Prentice Hall International editions, London.

Johannessen, L. & Eriksson, J-E.G. (red.) 2015. Faglig program for middelalderarkeologi. Byer, sakrale steder, befestninger og borger. Riksantikvaren.

Norsk Standard 9451:2009. Kulturminner. Krav til miljøovervåking og –undersøkelse av kulturlag. Standard Norge.

Rickard D, Morse JW. 2005. Acid volatile sulfide (AVS). Marine Chemistry 97:141-197.

Reed, I.W. 2002. Arkeologisk rapport. Overvåking/forundersøkelse I forbindelse med rivning av bensinstasjon i Munkhaugveita 3 – 5, TA 2002/06. NIKU, Distriktskontor Trondheim. Arkivrapport.

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.

6 Vedlegg

1. Generelt om bevaringstilstand (NIBIO)
2. Kontekstliste for kulturlag i Hull 1 og Hull 4 med arkeologfaglig vurdering av tilstand.
3. Fotoliste nik_ark 339304 – 339322
4. Analyserapport ¹⁴C dateringer, NTNU NLD
5. Analyserapport Eurofins AS SO4
6. Analyserapport Eurofins AS HN4 og NO3
7. Innmålte punkter for sensorer i Hull 1 og Hull 4 EUREF 98 Sone 32N

Norsk institutt for kulturminneforskning er et uavhengig forsknings- og kompetansemiljø med kunnskap om norske og internasjonale kulturminner.

Instituttet driver forskning og oppdragsvirksomhet for offentlig forvaltning og private aktører på felter som by- og landskapsplanlegging, arkeologi, konservering og bygningsvern.

Våre ansatte er konservatorer, arkeologer, arkitekter, ingeniører, geografer, etnologer, samfunnsvitere, kunsthistorikere, forskere og rådgivere med spesiell kompetanse på kulturarv og kulturminner.

www.niku.no

NIKU Rapport 161
ISSN 1503-4895
ISBN 978-82-0801-308-7

NIKU hovedkontor
Storgata 2
Postboks 736 Sentrum
0105 OSLO
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tønsberg
Farmannsveien 30
3111 TØNSBERG
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Bergen
Dreggsallmenningen 3
Postboks 4112 Sandviken
5835 BERGEN
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Trondheim
Kjøpmannsgata 1b
7013 TRONDHEIM
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tromsø
Framsenteret
Hjalmar Johansens gt.
14
9296 TROMSØ
Telefon: 77 75 04 00

Vedlegg 1

Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag

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

I naturen foregår nedbrytning av organisk materiale eller korrosjon av metaller parallelt med reduksjon av andre forbindelser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner og bruker denne energien til bl.a. oppbygging av biomasse. Mest energi får mikroorganismer hvis de kan bruke oksygen til å oksidere organisk materiale.

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

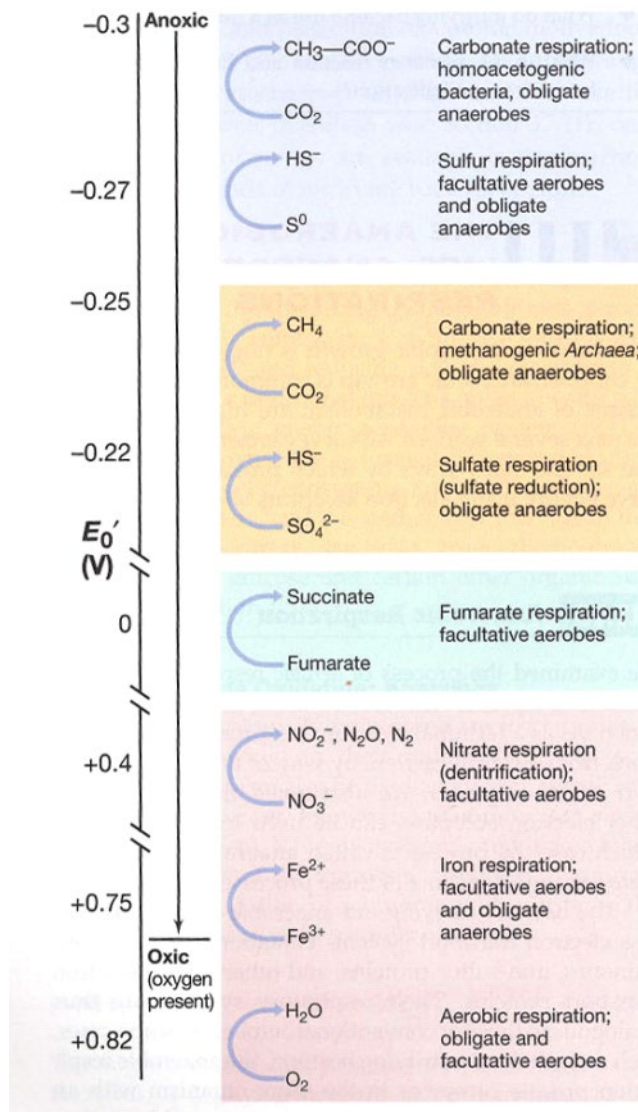
I naturen kan vi derfor observere at aerobe forhold med oksygen til stede, går over til nitratreduserende forhold når alt oksygen er brukt opp. Deretter følger mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før en får metanogene forhold.

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

Redoksforhold i grunnen kan karakteriseres ved å måle redokssensitive komponenter i jord og porevann (oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid, metan): Høye oksygenkonsentrasjoner indikerer for eksempel at forholdene er oksidative og at mikroorganismene bruker oksygen til å bryte ned organisk materiale. Ved slike forhold kan vi forvente at nitrogen foreligger i stor grad som nitrat og ikke som ammonium, jern foreligger som oksidert jern (III) og konsentrasjon av sulfid vil som regel være svært lavt. Hvis forholdene derimot er jernreduserende, vil alt 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,

Vedlegg 1

men det er ikke ventet høye sulfidkonsentrasjoner (**Figur 1**).



Figur 1. Redoksføhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer (Brock, 1996)

Andre miljøforhold som vil påvirke bevaring av kulturlag er massenes permeabilitet og vannmetning. Dette vil styre gjennomstrømning 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.

Hull	Profil	Lag nr.	Beskrivelse	Periode	SOPS (tilstand)	Prøvemateriale			Prøvenr. Felt	Gjenstandsfunn
						C14	Botanisk	Jordkjemi		
1	1 - 1	1	Mørkebrun fet og meget kompakt organisk masse med innslag av tegl og noe stein.	1600 - 1700	A2			x		
		2	Likt 5 men noe lysere farge og med innslag av lys leire og trekull. Dyrebein i dårlig tilstand.	Middelalder	A2	TRa-10601 825 +15/- 15BP CalAD 1180 -1259 (2 sigma)	x		C14 #2 Bot.#4	
		3	Lys beigebrun myk sandholdig silt med noe klebersteinsflis og annen type stein. Laget var spettet med trekull og sot.	Middelalder	A2			x	Bot. #3	
		4	Lik 3, men med treflis som var myk og svampete. Noe trekull.	Middelalder	A2	TRa-10598 1200 +15/- 15 BP CalAD 772 - 881 (2 sigma)			C14 #1	
		5	Mørkegrå, kompakt siltblandet sand. Innslag av tegl, stein og trekull.	1600 - 1700	A2			x		
		6	Lik 1 men mer løs komprimering og med sandholdig.	1600 - 1700	A2					
1	1-2	1	Mørkegrå, kompakt sand med tegl og noen keramikkskår, kun fra nyere tid. Organisk materiale i form av treflis og dyrebein, begge typer i dårlig tilstand.	1600 - 1800	A2					
		2	Mørkebrun, løst komprimert treflis i horisontal deponering. Treflisene var myke og tilstanden var meget dårlig. Innslag av dyrebein, brent bein, sandlinser, vindusglass og kakkelfliser.	1500 - 1700	A2					
		3	Mørkegrå, meget kompakt sandblandet silt med spredt innhold av trekull, stein, klebersteinsflis og lyse klumper av leire. Det ble registrert noe dyrebein med myk, morken overflate.	Middelalder	A2					
		4	Konsentrasjon av stein i forskjellig retting og mye trekull. Ildsted?	Middelalder	A0	x			C14	
4	4 - 1	1	Gråbrun, kompakt siltholdig sand med mye leire klumpvis fordelt i laget. Innslag av stein, trekull og tegl.	1600 - 1700	A0					
		2	Middels brun myk organisk masse med mye treflis, ca. 70%. Innslag av tegl og noen gjenstandsfunn i form av skår fra fajanse og passglas.	1600 - 1700	A2/A3			x		
		3	Brun, myk og klebrig siltholdig sand, med spredte treflis i morken tilstand. Innslag av store dyrebein og enkelte keramikkskår av rødgodstype.	1500 - 1700	A2?			x		
		4	Middelsgrå kompakt siltholdig, men grovkornete sand. Nedre del av laget var lysere i fargen og mer leirholdig. Det var innslag av jernklumper i korrodert forfattning og noe dyrebein i dårlig tilstand.	Middelalder	A1-A2	Tra-10599 425 +10/-10 BP CalAD 1440 -1467 (2 sigma)	x	x	C14 # 5 Bot. #7	
		5	Grov grå sand med småstein og med enkelte større stein. Det fantes leirklumper i laget og spredte trekull.	Middelalder	A0					
		6	Mørkegråbrun, kompakt og fuktig siltholdig sand. Laget innhold klebersteinsflis, trekull og dyrebein i dårlig forfattning. I øvre søndre del av lag 6 var det spor etter en horisontal liggende ubrent planke.	Middelalder	A2	TRa-10600 775 +15/-15 BP CalAD 1223 -1274 (2 sigma)	x	x	C14 # 6 Bot. #8	MA keramikk, engelsk type
		7	Mellombrun tørr og løst komprimert sand, med noe stein og tegl.	1600 - 1800	A1			x		
		8	Treverk, kraftig planke? Ubrent. Ligger i øvre del av lag 6.	Middelalder	A2					
		9	Gråbrunmeget kompakt og myk siltblandet sand. Noe stein og bein.	1600 - 1700	A2					
4	4 - 2	1	Mørkebrun fet masse med organisk innhold. Det fantes treflis i laget og dyrebein, og begge typer var myke og morkne.		A2					
		2	Mørkebrun, porøs sand med lysere sand innblandet. Laget innhold mye dyrebein i store stykker, og beinen var middels god bevart.		A2/A3					
		3	Mørkebrun, meget kompakt masse med noe stein, dyrebein og innslag av dårlig bevarte treflis.		A2					
		4	Lik lag 3 men lysere i fargen og mer kompakt enn lag 3.		A2					
		5	Lys gråbrun kompakt siltholdig leire med noe klebersteinsflis og noe trekull.		A0					
		6	Kompakt knust kleberstein blandet i noe leirholdig masse. Det fantes enkelte dyrebein i laget og trekull. Mengden trekull økte i de nedre deler av laget.		A2	x			C14 #9	
		7	kompakt «skitten», lys grå leire med innslag av stein, dårlig bevart bein, noe treflis som også var dårlig bevart samt noe trekull.		A2	x			C14 #10	

niku_ark	fotonr	Himmelretting	Fotograf	Dato	Beskrivelse
339304	42	mot øst	AHP	13.08.2015	Hull 4. Profil 4:1 lag 3,4 ,6 og 8
339305	43	mot øst	AHP	13.08.2015	Hull 4. Profil 4:1 nedre del. Lag 3,4 ,6 og 8
339306	44	mot øst	AHP	13.08.2015	Hull 4. Profil 4:1 nedre del. Lag 3,4 ,6 og 8
339307	46	mot øst	AHP	13.08.2015	Hull 4. Profil 4:1 øvre del
339308	48	mot øst	AHP	13.08.2015	Hull 4. Profil 4:1 nedre del med målestokk
339309	49	mot vest	AHP	13.08.2015	Hull 4. Profil 4:2 ned profilsnor fra 2002
339310	56	mot sør	AHP	13.08.2015	Hull 1. Profil 1:1
339311	58	mot sør	AHP	13.08.2015	Hull 1. Profil 1:1 lag 3, 2, 4, 5 og 1
339312	59	mot nord	AHP	13.08.2015	Hull 1. Profil 1:2 øvre og midtre del
339313	61	mot nord	AHP	13.08.2015	Hull 1. Profil 1:2 øvre del
339314	65	mot nord	AHP	13.08.2015	Hull 1. Profil 1:2 nedre del
339315	66	mot nord	AHP	13.08.2015	Hull 1. Profil 1:2 nedre del med målestokk
339316	67	mot nord	AHP	13.08.2015	Hull 1. Profil 1:1 med målestokk
339317	70	mot øst	AHP	13.08.2015	Hull 4. Profil 4 under fremgraving. Løftarm til plate i bunn av hull 4 nederst til høyre
339318	72	mot sør	AHP	13.08.2015	Hull 4 under oppgraving. Profil 4:1 til venstre og 4:2 til høyre.
339319	74	mot sørøst	AHP	13.08.2015	Oversikt. Hull 4 med profil 4:1
339320	76	mot nordvest	AHP	13.08.2015	Oversikt. Hull 1 med profil 1:2.
339321	77	mot sørvest	AHP	13.08.2015	Oversikt. Hull 1 med profil 1:1.
339322	4286	mot sørvest	AHP	14.08.2015	Oversikt. Hull 4 med profil 4:1 før tegning.

Anna Petersén
NIKU
Kjøpmannsgt. 1B
7013 Trondheim

anna.petersen@niku.no

Note:
The conventional radiocarbon ages in this report are rounded. To avoid extra uncertainty while calibrating the results, use the un-rounded results un parenthesis.
The laboratory identifier (TRa-xxx) MUST be reported together with the results as it identifies the samples

Tra-10598 1020444 Profil 1:1 lag 4

1020444 Profil 1:1 lag 4. Munkhaugveita, Trondheim, Sør-Trøndelag. Lokalitetstype by, kontekst kulturlag. Posisjon: 569696E, 7034196N.

Fraction
Bark, AAA (50 % C)

14C content (pMC)	Conventional 14C Age	Delta13C
86.1 ± 0.1	1200 +15/-15 BP (1202 +13/-13 BP)	-24.69 ± 0.25 ‰

Tra-10599 1020444 Profil 4:1 lag 4

1020444 Profil 4:1 lag 4. Munkhaugveita, Trondheim, Sør-Trøndelag. Lokalitetstype by, kontekst kulturlag. Posisjon: 569696E, 7034196N.

Fraction
Trekull. Populus sp., AAA (58 % C)

14C content (pMC)	Conventional 14C Age	Delta13C
94.9 ± 0.1	425 +10/-10 BP (423 +11/-11 BP)	-25.02 ± 0.28 ‰

Tra-10600 1020444 Profil 4:1 lag 6

1020444 Profil 4:1 lag 6. Munkhaugveita, Trondheim, Sør-Trøndelag. Lokalitetstype by, kontekst kulturlag. Posisjon: 569696E, 7034196N.

Fraction
Trekull. Betula., AAA (59 % C)

14C content (pMC)	Conventional 14C Age	Delta13C
90.8 ± 0.1	775 +15/-15 BP (775 +13/-13 BP)	-26.61 ± 0.37 ‰

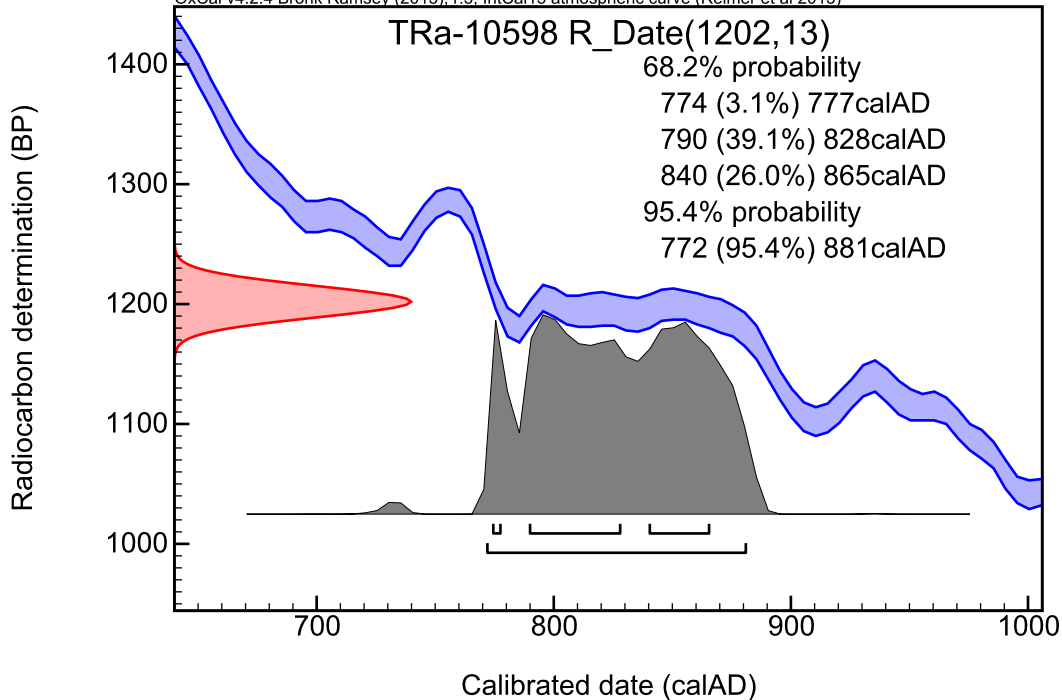
Tra-10601 1020444 Profil 1:1 lag 2

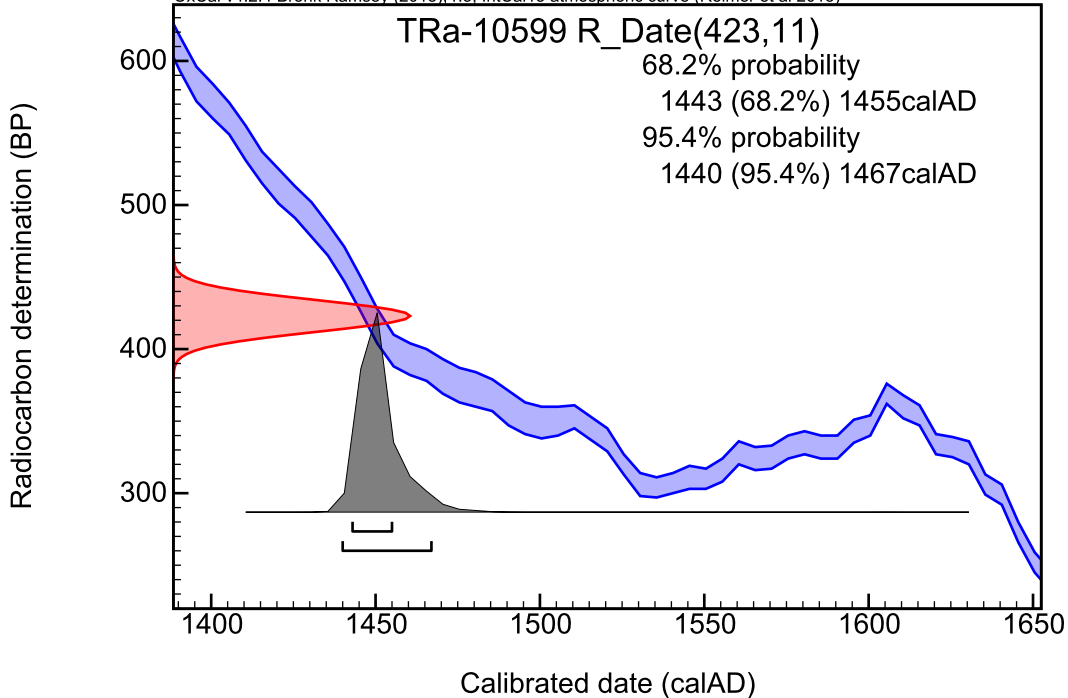
1020444 Profil 1:1 lag 2. Munkhaugveita, Trondheim, Sør-Trøndelag. Lokaltetype by, kontekst kulturlag. Posisjon: 569696E, 7034196N.

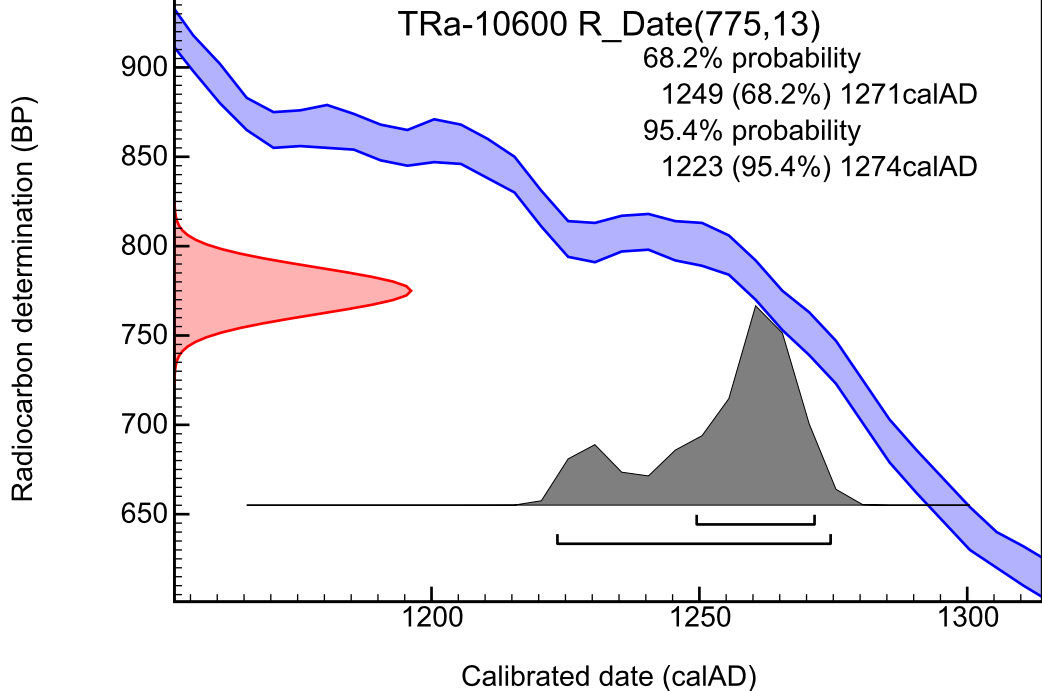
Fraction

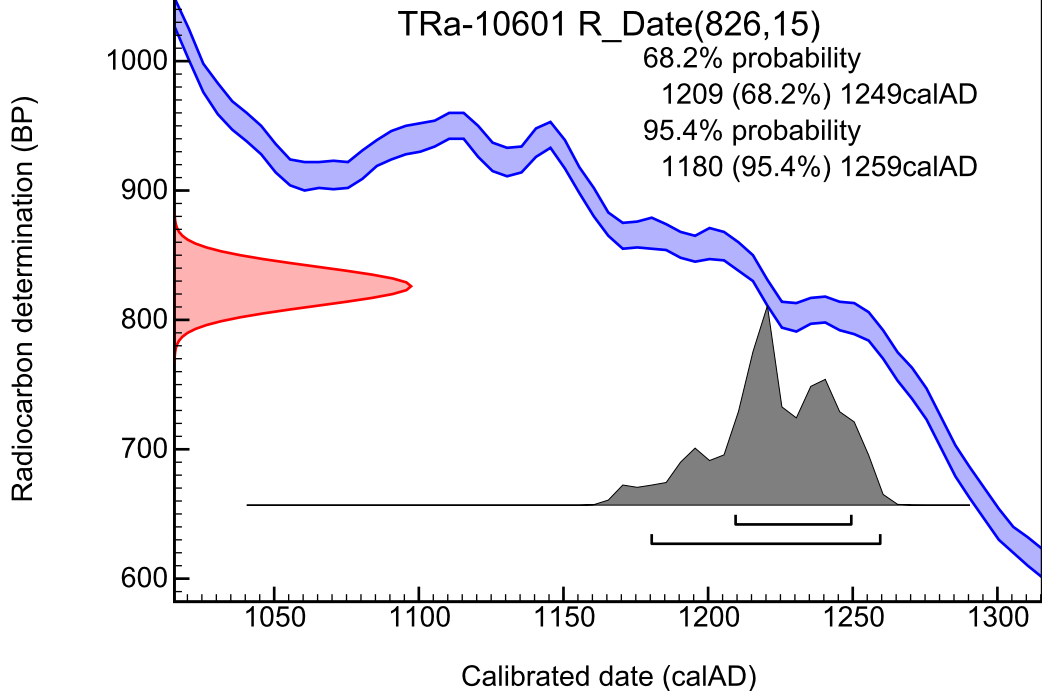
Trekull. Betula sp., AAA (59 % C)

14C content (pMC)	Conventional 14C Age	Delta13C
90.2 ± 0.1	825 +15/-15 BP (826 +15/-15 BP)	-28.1 ± 0.3 ‰









NIBIO
 Frederik A. Dahls vei 20
 1432 ÅS
 Attn: Ove Bergersen

AR-15-MM-018311-01

EUNOMO-00126111

Prøvemottak: 14.10.2015

Temperatur:

Analyseperiode: 14.10.2015-23.10.2015

Referanse: Vannprøver

ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	439-2015-10140279	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	4.1 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	135	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140280	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	4.2 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	22.1	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140281	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	4.3 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	92.6	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140282	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	4.4 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	69.9	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140283	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	4.5 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	147	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet

<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Prøvenr.:	439-2015-10140284	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	4.6 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	33.1	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140285	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	1.1 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	282	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140286	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	1.2 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	271	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140287	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	1.3 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	524	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140288	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	1.4 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	115	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140289	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S1 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	5.23	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140290	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S2 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	9.65	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
 <: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Prøvenr.:	439-2015-10140291	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S3 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	3.33	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140292	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	Ref.elektrode vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	5.09	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140293	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	B2 midten vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	34.3	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140294	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S4 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	11.7	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140295	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S5 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	26.1	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140296	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S6 vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	13.5	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Prøvenr.:	439-2015-10140297	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Rent vann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	B3 høyre vann	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
Sulfat (SO4)	18.9	mg/l	0.1 20% NS EN ISO 10304-1

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
 <: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Moss 23.10.2015

Stig Tjomsland

Stig Tjomsland

ASM/Bachelor Kjemi

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

NIBIO
Frederik A. Dahls vei 20
1432 ÅS
Attn: Ove Bergersen

AR-15-MM-018372-01

EUNOMO-00126117

Prøvemottak: 14.10.2015

Temperatur:

Analyseperiode: 14.10.2015-23.10.2015

Referanse: Vannprøver

ANALYSERAPPORT

Prøvenr.: 439-2015-10140306	Prøvetakingsdato: 14.10.2015				
Prøvetype: Avløpsvann	Prøvetaker: Ove Bergersen				
Prøvemerkning: 4.1 KCL	Analysestartdato: 14.10.2015				
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	1.4	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	0.29	mg/l	0.1	20%	SS 028133

Prøvenr.: 439-2015-10140307	Prøvetakingsdato: 14.10.2015				
Prøvetype: Avløpsvann	Prøvetaker: Ove Bergersen				
Prøvemerkning: 4.2 KCL	Analysestartdato: 14.10.2015				
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.19	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1		SS 028133

Prøvenr.: 439-2015-10140308	Prøvetakingsdato: 14.10.2015				
Prøvetype: Avløpsvann	Prøvetaker: Ove Bergersen				
Prøvemerkning: 4.3 KCL	Analysestartdato: 14.10.2015				
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	7.4	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1		SS 028133

Tegnforklaring:

 * Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Prøvenr.:	439-2015-10140309	Prøvetakingsdato:	14.10.2015		
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen		
Prøvemerkning:	4.4 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	4.1	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1		SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140310	Prøvetakingsdato:	14.10.2015		
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen		
Prøvemerkning:	4.5 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	1.7	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1		SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140311	Prøvetakingsdato:	14.10.2015		
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen		
Prøvemerkning:	4.6 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.27	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	0.63	mg/l	0.1	20%	SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140312	Prøvetakingsdato:	14.10.2015		
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen		
Prøvemerkning:	1.1 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	57	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1		SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140313	Prøvetakingsdato:	14.10.2015		
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen		
Prøvemerkning:	1.2 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	3.8	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1		SS 028133

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
 <: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Prøvenr.:	439-2015-10140314	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	1.3 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.76	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1 SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140315	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S1 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.15	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1 SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140316	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S2 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.81	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	0.54	mg/l	0.1 20% SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140317	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S3 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.87	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1 SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140318	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	Ref elektrode KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.26	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1 SS 028133

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
 <: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Prøvenr.:	439-2015-10140319	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	B2 midten KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	3.3	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	0.13	mg/l	0.1 20% SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140320	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S4 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.36	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1 SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140321	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S5 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	1.1	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	9.8	mg/l	0.1 10% SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140322	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	S6 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.034	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	2.1	mg/l	0.1 10% SS 028133

Prøvenr.:	439-2015-10140323	Prøvetakingsdato:	14.10.2015
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen
Prøvemerkning:	B3 høyre KCL	Analysestartdato:	14.10.2015
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ MU Metode
a) Ammonium-N			
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.15	mg/l	0.01 15% EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N			
a) Nitrat (NO ₃ -N)	3.0	mg/l	0.1 10% SS 028133

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
 <: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).



Prøvenr.:	439-2015-10140324	Prøvetakingsdato:	14.10.2015		
Prøvetype:	Avløpsvann	Prøvetaker:	Ove Bergersen		
Prøvemerkning:	1.4 KCL	Analysestartdato:	14.10.2015		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) Ammonium-N					
a) Ammonium (NH ₄ -N)	0.78	mg/l	0.01	15%	EN ISO 11732:2007
a) Nitrat-N					
a) Nitrat (NO ₃ -N)	< 0.10	mg/l	0.1		SS 028133

Utførende laboratorium/ Underleverandør:

a) ISO/IEC 17025 SWEDAC 1125, Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), Box 887, Sjöhagsg. 3, SE-53119, Lidköping

Moss 23.10.2015


Stig Tjomsland

ASM/Bachelor Kjemi

Tegnforklaring:

* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet
<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist

Opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

HULL 1

~~Q3N~~

UTM32N

MUNKVHULL1REDOX, 04.01.2016, Page 1

FID	Shape	PT_ID	NORTHING	EASTING	ELEVATION	DESCRIPTIO
0	Point	2	7041681,7733	270408,8153	8,5919	2
1	Point	1	7041681,809	270407,9511	9,2566	1

HULL4

B3W

UTM 32N

MUNKVHULL4REDOX, 04.01.2016, Page 1

FID	Shape	PT_ID	NORTHING	EASTING	ELEVATION	DESCRIPTIO
0	Point	4	7041673,3935	270420,9128	7,9914	4
1	Point	3	7041672,9976	270421,0409	8,3596	3
2	Point	2	7041672,4382	270421,1615	9,5575	2
3	Point	1	7041672,0764	270421,5977	10,1471	1



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim

Statusrapport II september 2015 til desember 2017

NIBIO RAPPORT | VOL. 4 | 2018



Ove Bergersen, Thor Endre Nytrøen, Srikanthapalan Muthulingam & Øistein Johansen
Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. Statusrapport II september 2015 til oktober 2017

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen, Thor Endre Nytrøen, Srikanthapalan Muthulingam & Øistein Johansen

DATO/DATE:	RAPPORT NR	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR	SAKSNR
15.01.2018	4 /2018	Lukket	8929	18/00079
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER:	ANTALL VEDLEGG
			21	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

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordkvalitet og miljøovervåking i kulturlag fra
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. To år etter installert overvåkingsutstyr, viser at overvåkingen fortsatt fungerer bra uten avvik i oppstartsperioden frem til des. 2017. Målinger og data fra overvåkingen viser at det fortsatt er reduserende forhold i de fleste kulturlagene med unntak av den høyest plasserte sensoren i Hull 4 på 10.10 moh. og Hull 1 ved 9.10 moh. hvor det er noe tørrere og oksiderende forhold. På slutten av 2017 har redoksforholdene sunket pga. økt jordfuktighet i øvre lag av Hull 1. Lav jordtemperatur i begge profiler viser godt under 10°C som tilsier lav nedbrytingsrate av organisk materialet. NIBIOs egne nedbrytingsforsøk på jordprøver fra to av kulturlagene i Hull 4 (9.1 og 7.9 moh.) har vist stabile forhold og nedbrytingsraten er nesten ikke målbar ved 10 °C både uten og med nærvær av oksygen. Dette viser at det er mulig å bevare organisk materiale bedre over lengre tid hvis kulturlagene holdes ved lave temperaturer.

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Sør Trøndelag

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Trondheim

STED/LOKALITET:

Munkehaugsveita

GODKJENT /APPROVED**TROND MÆHLUM****PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER****OVER BERGERSEN****NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Innhold

1	Introduksjon	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Målet for prosjektet.....	5
1.3	Avvik	5
2	Metoder og utstyr	7
2.2	Feltarbeide.....	8
2.3	Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag	8
2.4	Feltarbeid i forbindelse med miljøovervåking.....	8
2.5	Miljøovervåking av arkeologiske kulturlag.....	9
2.6	Installering av sensorer i kulturlag	9
2.7	Installering av datalogger	10
3	Resultater og diskusjon	11
3.1	Bevaringsforholdene i begge profiler	11
3.2	Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull 4	12
3.3	Jordfuktigheten og redoksforhold målt i kulturlag i Profil 1 i Hull 1 og Hull 4.....	14
4	Konklusjon	19
5	Litteraturreferanser	20
	Vedlegg	21

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 andre statusrapport i perioden 2015 til 2017.

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, 08.01. 2018



Ove Bergersen

Prosjektleder

1 Introduksjon

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 tidlige år har vært en bensinstasjon i dag parkeringsplass. 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

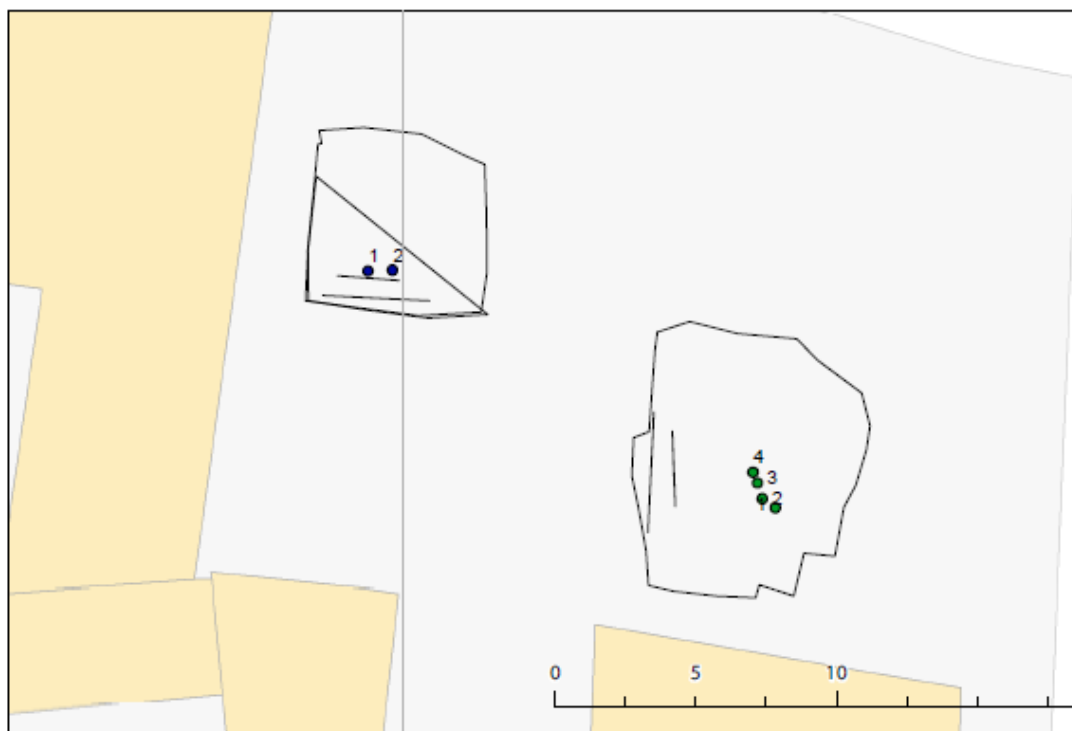
Målet med prosjektet er å overvåke kulturlag in-Situ ved å undersøke hva som skjer med bevaringen av umettede kulturlag før og etter etablering av nytt bygg over en periode på flere år.

1.3 Avvik

Alle sensorene har gitt gode og fornuftige resultater i hele måleperioden fra installasjon sept. 2015 til ut 2017. Det er ikke registrert avvik i målingene i denne perioden.



569700



EUREF89/UTM32

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 Metoder og utstyr

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 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 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.

Redoksførhold 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 bentonitt duk ble lagt inntil profilveggen 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). 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. Økt temperatur og svingninger i tørt og vått klima kan virke inn på nedbrytingen av de arkeologiske kulturlag.

2.6 Installasjon 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 redoks-sensorer 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 bentonitt duk 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.

Plassering av de forskjellige sensorene i hver sin profil er vist ved foto i Vedlegg 2

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
Kobling 1	Redox	4.1	10.10	4.1/2	A2/A3	oksidierende	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	oksidierende	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	ift Lys brun mass	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	9.70	4.1/3				

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).

3 Resultater og diskusjon

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 (%)	Vanninnhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
	(moh)							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.	9.70	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%
	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
** Diesel forurenset

3.2 Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull 4

Det er målt små endringer i jordtemperatur i profil 1 Hull 1 & Hull 4. Gjennomsnitt temperaturen målt det første år er alle under 10 °C og 7 °C i 2017 i Hull 1 og Hull 4 (Tabell 3 & 4, Figur 2). 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 i 2016. Likevel er beregnet gjennomsnittstemperatur første år ganske lik mellom øvre og nedre kulturlag på 9 °C i Hull 1 og 7-9 grader i Hull 4 (Tabell 3). I 2017 sank temperaturen til 7 °C i Hull 1 mot 6 – 7 °C i Hull 4 (Tabell 4). Temperaturmålingene følger middel utetemperatur (Figur 2). Lav temperatur er gunstig for bevaring av organisk materiale både med og uten nærvær av oksygen. Ved slike temperaturer skjer det lite oksidering av organisk materiale både med kjemisk eller mikrobiologisk aktivitet.

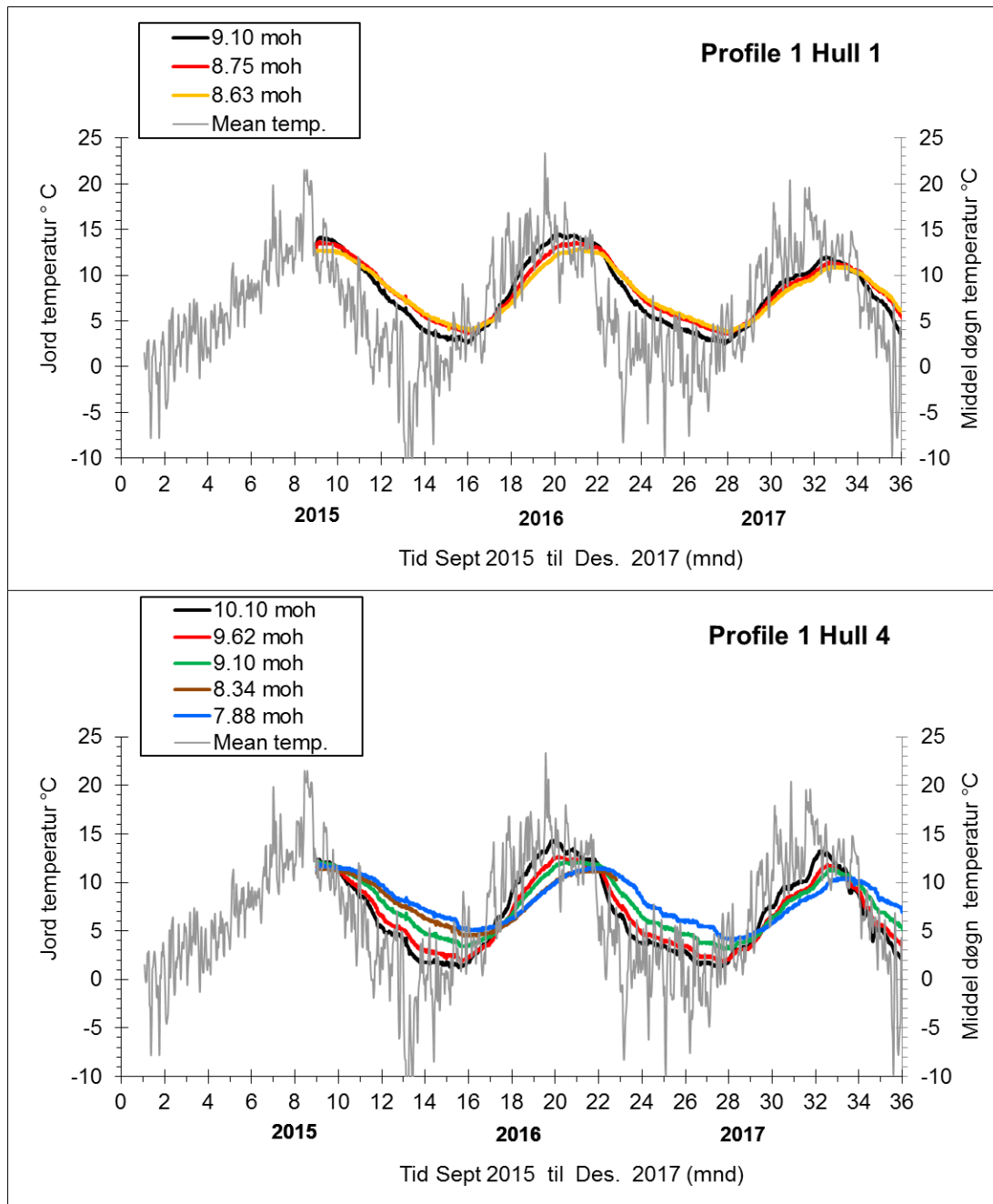
All mikrobiologisk forskning på naturlig nedbryting av organisk materiale viser at temperatur påvirker hastigheten i større grad fra 15 °C og oppover. Ved 10 °C skjer dette langsomt med oksygen til stedet. Studier på nedbryting av organisk materialet ved NIBIO (Petersén & Bergersen 2016) og undersøkelser 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 under anaerobe forhold ved 10 °C. (Bergersen, 2016). Nye forsøk i 2017 gjennomført av NIBIO på jordprøver med oksygen tilstede viser samme resultat (data ikke vist).

Tabell 3 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2015-2016	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	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	8.8	9.2	9.0	6.6	7.3	8.1	8.5	8.8
Gjennomsnitt	8.8	9.1	8.9	7.3	7.4	8.1	8.3	8.7

Tabell 4 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2017	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	2.5	3.6	3.8	1.3	1.9	3.1	3.9	4.0
Maks	12.0	11.4	10.9	13.2	11.9	11.4	10.3	10.4
Median	6.6	7.1	6.9	4.9	5.1	6.0	6.3	6.7
Gjennomsnitt	6.8	7.3	7.3	6.0	5.9	6.6	6.8	7.1



Figur 2. Jordtemperatur målt i 3 ulike kulturlag fra Hull1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med middel utetemperatur per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2017.

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

Jordfuktigheten registrert i profilene på tomten Munkehaugsveita i Trondheim ligger noe høyere i profil 1 Hull 1 sammenlignet med profil 1 Hull 4 første år av overvåkingen (Tabell 5). Gjennomsnittlig jordfuktighet beregnet i Hull 1 var 60-70 %. I øvre lag ble fuktigheten målt noe lavere omkring 50 % i de første måneder, men steg og fluktuerte mye i siste del av måleperioden av 2017 med økt nedbør som tydelig påvirker mer det øvre kulturlaget mer enn i dypere lag i Hull 1 (Figur 3 over). Derfor er det også observert en økning i gjennomsnitt jordfuktighet i øvre del av profilen på 9.10 moh. fra 2016 til 2017 (Tabell 5 og 6).

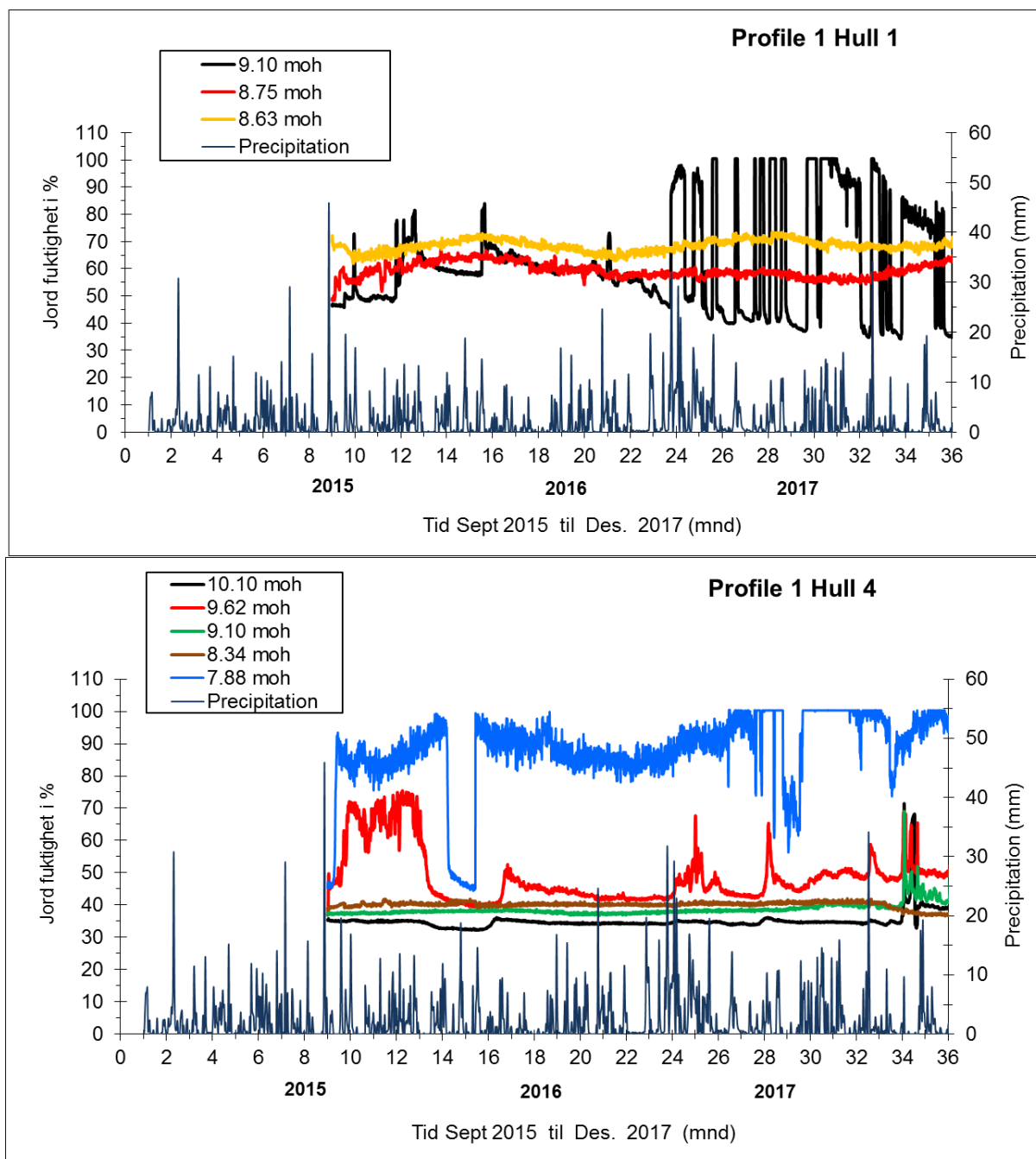
I profil 1 Hull 4 ble det målt gjennomsnittlig samme jordfuktighet i profilens lag i 2016 og 2017 (Tabell 5 og 6). Jordfuktigheten ligger omkring 40 %. Allikevel høyere jordfuktighet i lagene 4.5 (83 %) og 4.2 (51 %) målt i 2015 og 2016 fortsatte i 2017 hvor gjennomsnitt verdiene ble beregnet til 94 % i lag 4.5 på 7.88moh og 48 % i lag 4.2 på 9.62 moh.(Tabell 6). Sistnevnte fluktuerer med nedbørsperioder (Figur 3 under). De øvrige sensorer viser fortsatt mer stabil jordfuktighet omkring 40 % i topp (4.1) og midten (4.3 & 4.4) av profilen i 2017. Det kan se ut som om vann (evt. grunnvann) samler seg i bunnen av profilene. Ved installasjon ble profilen ved Hull 1 og Hull 4 fylt med vann i bunnen uten at det kom nedbør. Over tid er det sensoren i bunnen av Hull 4 på 7.88 moh. som påvirkes mest med høy jordfuktighet siden sensoren 4.5 ble plassert noe dypere enn i Hull 1 (8.63 moh.). I sistnevnte Hull 1 er det observert et høyere gjennomsnitt i jordfuktighet fra begge dypere lag.

Tabell 5 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2015-2016	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	46	48	62	32	37	37	39	44
Maks	98	67	73	36	75	39	42	100
Median	59	60	68	34	44	38	40	87
Gjennomsnitt	60	60	68	34	49	38	40	84

Tabell 6 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017.

Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2017	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	34	54	65	33	42	38	37	56
Maks	100	65	73	71	69	69	42	100
Median	50	58	69	35	49	39	40	98
Gjennomsnitt	65	58	69	36	49	40	40	94



Figur 3. Jordfuktighet målt i 3 ulike kulturlagdyp fra Hull 1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2017.

Redokspotensialet indikerer hvor mye oksygen som er til stedet i jordens porevolum ved 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 kulturlagene er fylt med vann. Tette kulturlag med mindre organisk innhold og lavere jordfuktighet kan også hindre at luft trenger ned til kulturlagene. Figur 4 & 5 viser lavere redokspotensialet i nedre del av profil 1 i både Hull 4 og Hull 1 hvor jordfuktigheten var noe høyere i både 2016 og 2017.

Beregninger viser at gjennomsnittverdien målt i begge redoks sensorer i Hull 1 viste nedgang i 2017 sammenlignet med 2015/2016 (Tabell 7 & 8). De samme tabeller viser mindre forskjell i beregnet gjennomsnittverdi i Hull 4. I øvre kulturlag ble det observert en tydelig nedgang i redoksforholdene i begge øvre kulturlag mot slutten av 2017 i både profil 1 Hull 4 (Figur 5), men størst reduksjon i profil 1 Hull 1 (Figur 4).

Kulturlaget i midten av profil 1 Hull 4 på 9.10 moh. viser redokspotensialet omkring +231 mV. Her vil det være midlere bevaringsforhold ved at redoksverdiene ligger i grenseland hvor man kan påvise og måle nærvær av oksygen eller ikke. Dette er beskrevet senere i kap. 3.3.

Redoksforhold sammenstilt med jordfuktigheten på samme høydemeter er illustrert i ulike figurer for å vise øvre og nedre deler av profilveggene fra begge Hull (Figur 4 & 5). Figur 4 viser at i øvre del av profil 1 Hull 1 (9.10 moh.) har økt nedbør hatt påvirkning og gitt høyere jordfuktighet som fluktuerer, og som over tid har redusert redokspotensialet fra +433 i 2016 til +213 mV i 2017. I den siste tiden har den vist negative verdier som er gunstig for bevaring av organisk materiale. I nedre del av profilen på (8.63 moh.) har det skjedd liten forandring hvor redoksforholdene er negative og jordfuktigheten ligger stabilt på 60-70 %.

Tabell 7 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Redox- condition	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
2015 & 2016	mV	mV	mV	mV	mV	mV
Min	339	-140	540	-46	-106	-168
Max	639	31	732	302	-49	-118
Median	412	-99	709	259	-95	-135
Average	433	-78	699	253	-93	-138

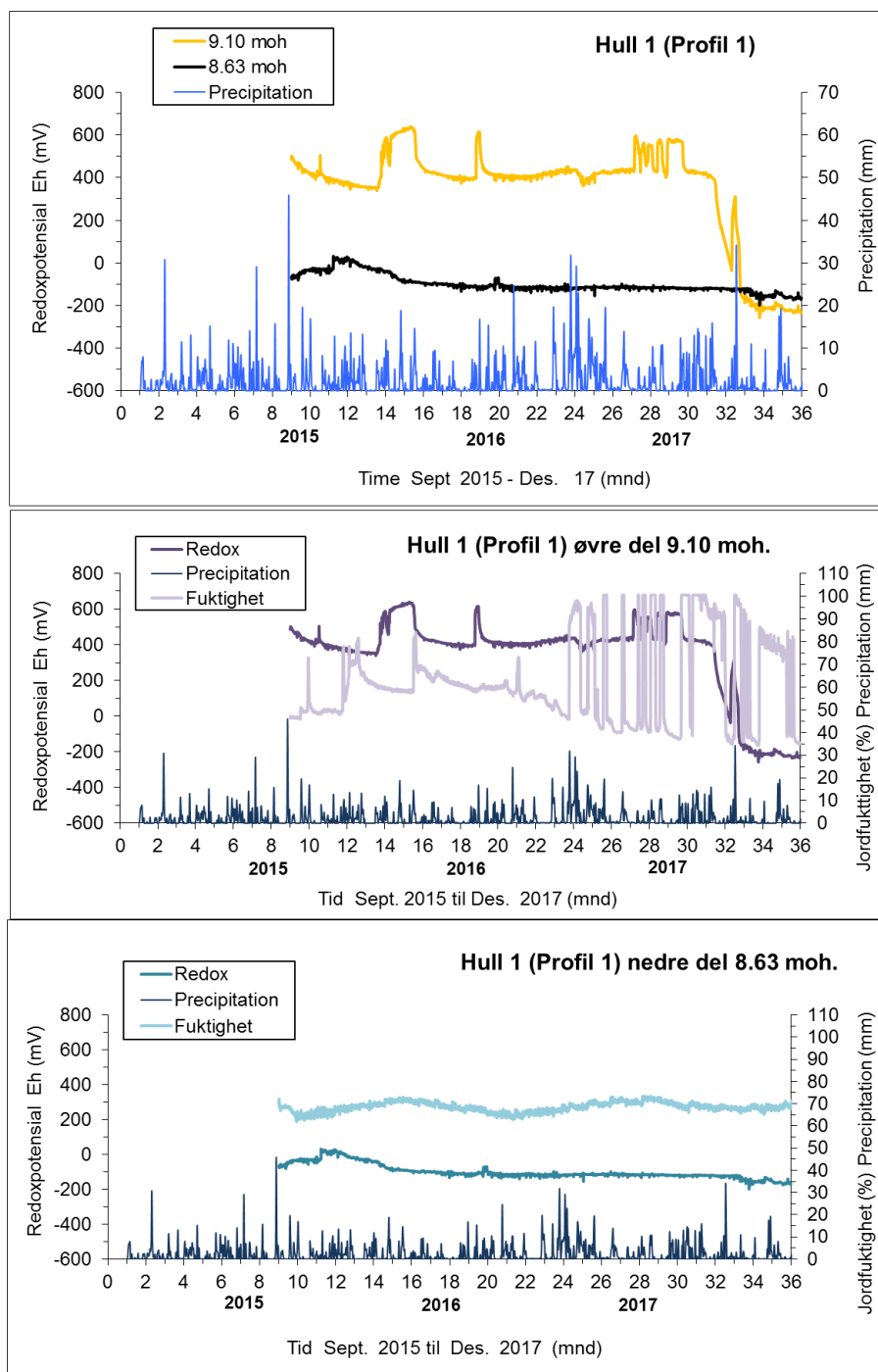
Tabell 8 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017.

Redox- condition	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
2017	mV	mV	mV	mV	mV	mV
Min	-257	-198	399	157	-108	-146
Max	597	-99	729	343	-94	-120
Median	419	-120	714	245	-101	-137
Average	213	-128	661	231	-102	-136

Figur 5 fra øvre og midtre del av profil 1 Hull 4 viser stabile, men oksiderende redoksforhold med målt redoks verdier på +700 mV (10.10 moh.) og ned til +252 mV (9.10 moh.). Disse varierer lite med nedbør og jordfuktighet før slutten av 2017 hvor den sank mest i øvre kulturlag.

Økende redokspotensialet gir også høyere nærvær av oksygeninnhold. Derfor viser øvre del av begge profiler noe mer oksiderende forhold sammenlignet med nedre del. Nedre del under 8 moh. viser negative redoks verdier (Tabell 7 & 8).

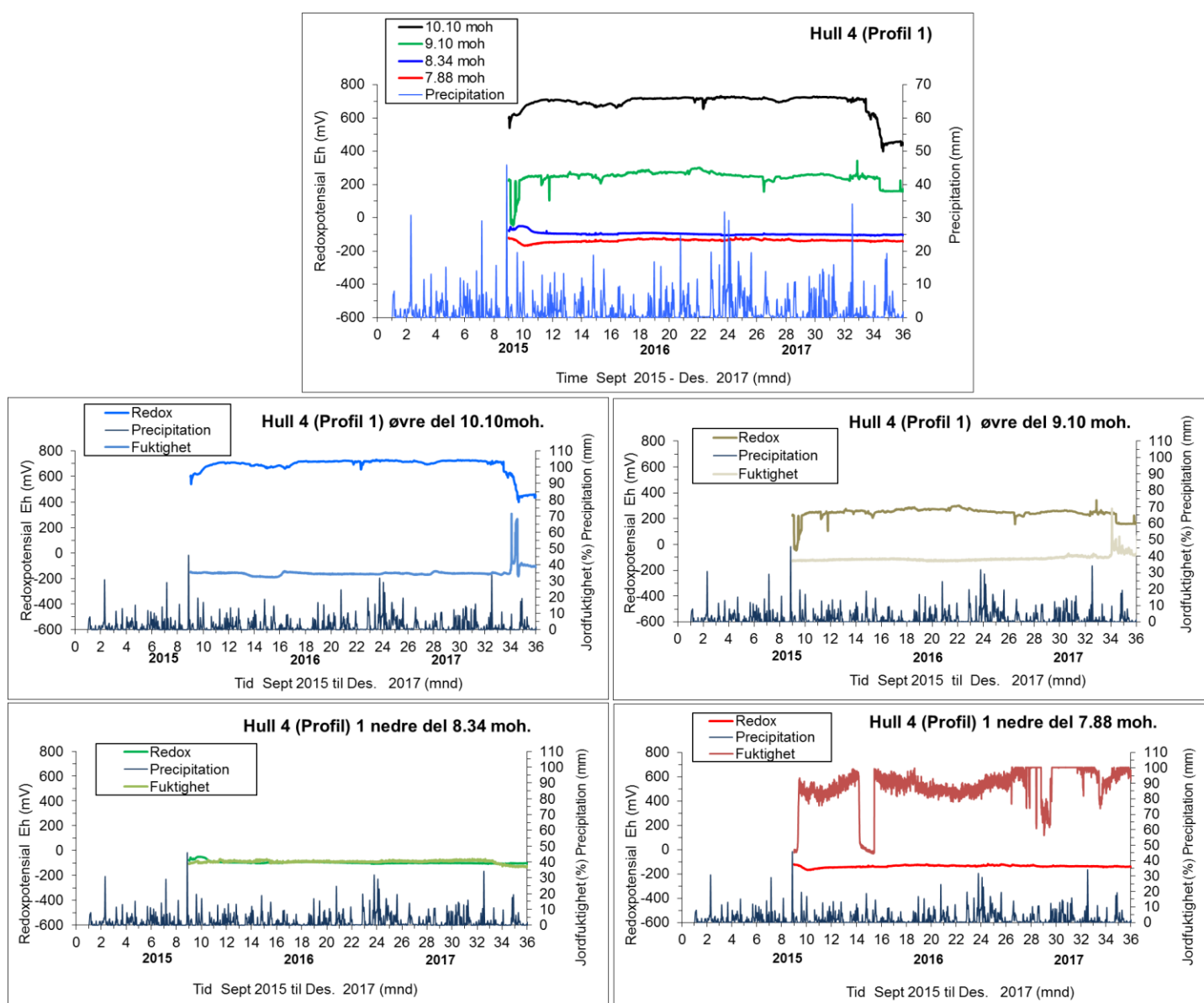
Målinger utført i miljøbrønner hvor oksygen og redokspotensialet er målt sammen, fra Anders Madsens gt. i Tønsberg viser at redoks verdier under +200 mV ikke gir store forskjellige verdier. Forskjellen på fra +200 til -400mV viste løst oksygen 0.3 til 0.1 Vol % (Bergersen, O. 2014). Målinger i umettet sone i Oslo har vist at redokspotensialet fra +300 til +500 mV ga et innhold av oksygen fra 6 til 16 Vol % oksygen. Fra +600 til +750 mV viser målinger 16 til 18 Vol % oksygen. Ved målte negative redoksverdier -50 og ned til -200 mV viste målinger med optiske sensorer oksygeninnhold på 0,2 ned til 0,05 Vol % i umettet kulturlag. Det kan se ut som om måling av redokspotensialet over +200 mV kan være en slags kritisk grenseverdi for hvor mye oksygen som er tilstede, og som igjen kan påvirke nedbryting av organisk materiale i kulturlag.



Figur 4. Jordfuktighet og redoksforshold målt i øvre og nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 1 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2017.

I nedre lag er det mer stabile beskyttende anoksiske forhold uten oksygen (Figur 4). Dette samsvarer med bevaringsforholdene i Hull 1 for organisk materiale vist i Tabell 2. Økt jordfuktighet vil også senke redoksforholdene ytterligere. Det ser man tydelig i øvre del av Hull 1 i siste års overvåking (Figur 4.)

Allikevel er det ikke alltid samsvar mellom jordfuktighet og redoksforhold. Jordanalysene målt i profil 1 Hull 4 viser gode bevaringsforhold in Situ fra kulturlag fra 9.10 ned til 7.88moh. Negative redoksverdier ble målt fra 8.34 til 7.88moh. (Figur 5). Her ble det målt jordfuktiget på rundt 40 %. I øvre lag nær overflaten på 10.10 og 9.10 moh. med stabil jordfuktighet på 32-35% inneholder porevolumet i kulturlagene mer oksygen og redoksverdiene ligger på + 700 og + 250mV (Figur 5).



Figur 5. Jordfuktighet og redoksforhold målt i øvre og nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 4 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2017

4 Konklusjon

- Miljøovervåking av arkeologisk kulturlag på tomten Munkehaugsveita i Trondheim (Profil 1 Hull 4) i perioden september 2015 til desember 2017 viser reduserende og gode bevaringsforhold fra under 9.10 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 redoksforhold 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 i Hull 1 viser høyere jordfuktighet sammenstilt med Hull 4 og redoksforholdene i øvre del av profilen er i ferd med å bli anoksisk og reduserende.
- Middeltemperatur i begge profiler er under 10 °C, noe 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.
- NIBIO mener at overvåkingen som er installert og i drift bør kunne gi et godt grunnlag for å vurdere endringer i bevaringsforhold videre som følge av bygging av et nytt bygg på tomta i Munkehaugsveita. Sistnevnte krever at ikke utstyret skades under bygging.

5 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.

Bergersen O. (2016). Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. Statusrapport I per september 2016 NIBIO rapport Vol 2 (17). ISBN 978-82-17-01577-2

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.

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

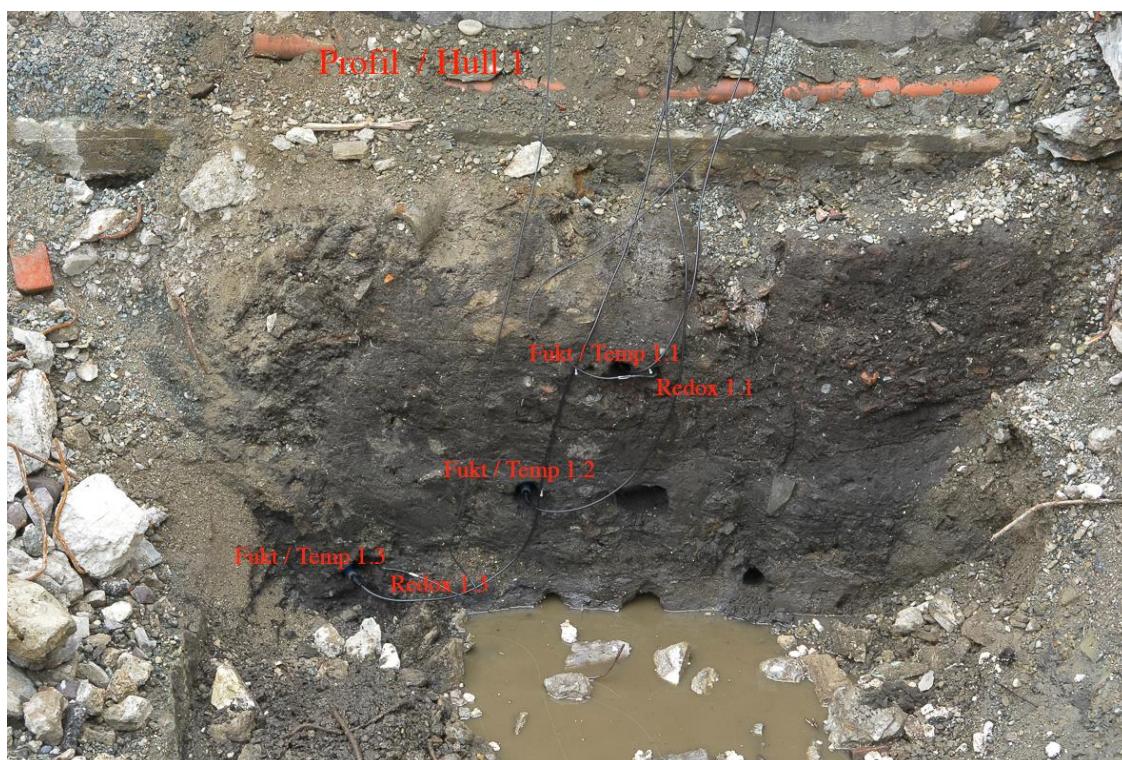
Vedlegg

No Subject

- 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.

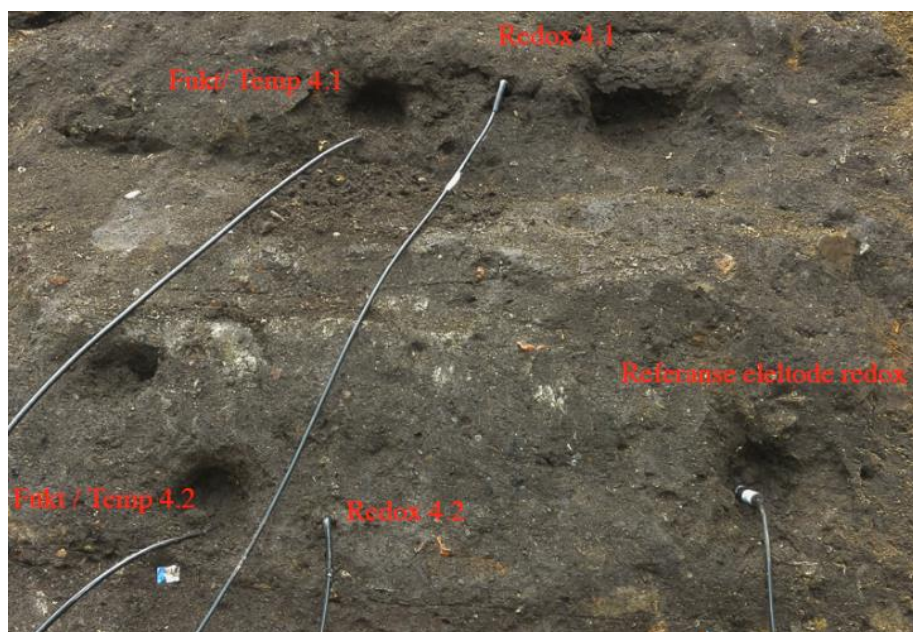
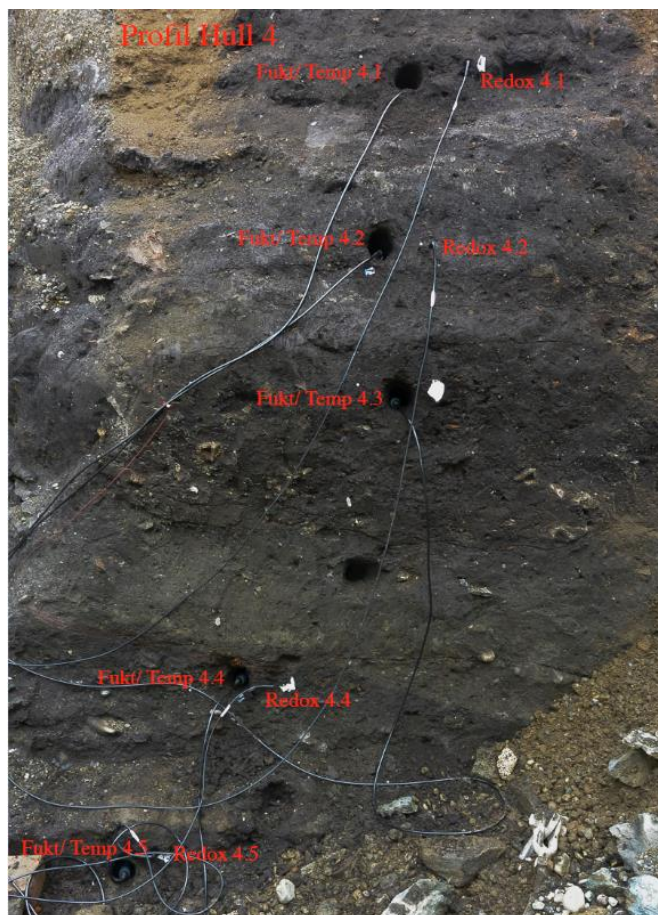


Hull 1 Profil 1 dekket med bentonitt duk før den ble fylt igjen.





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. elektrode (under). Plassering ref elektrode 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

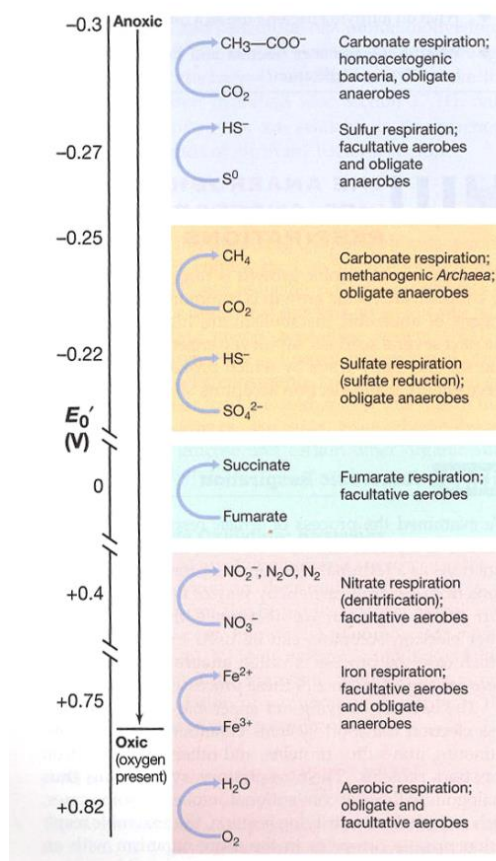
MUNKVHULL4-SAMPLES, 04.01.2016, Page 1						
FID	Shape	PT_ID	NORTHING	EASTING	ELEVATION	DESCRIPTIO
0	Point	7	7034179,35	569712,4651	7,8884	4.5
1	Point	6	7034178,9707	569712,7201	8,3383	4.4
2	Point	5	7034178,6218	569712,6751	8,5685	4.6
3	Point	4	7034178,4218	569712,6296	9,1035	4.3
4	Point	2	7034178,5263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

Vedlegg 3

Bevaringskala 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



Redoksføhold 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.



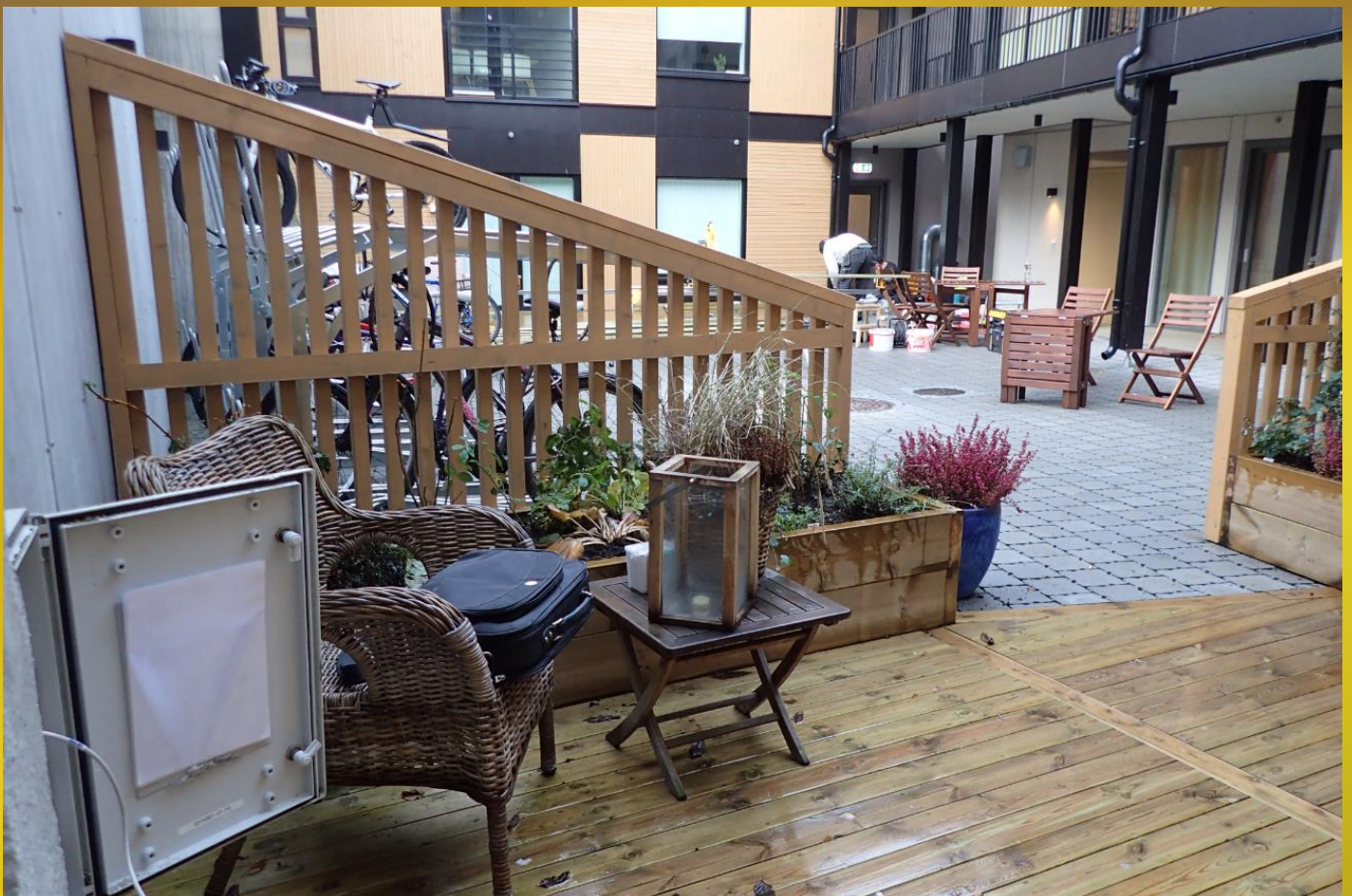
NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim

Statusrapport III september 2015 til mars 2019

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | 2019



Ove Bergersen, Thor Endre Nytrøen, Srikanthapalan Muthulingam & Øistein Johansen
Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. Statusrapport III september 2015 til mars 2019

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen, Thor Endre Nytrøen, Srikanthapalan Muthulingam & Øistein Johansen

DATO/DATE:	RAPPORT NR	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR	SAKSNR
24.05.2019	5 /2019	Lukket	8929	18/00079
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER:	ANTALL VEDLEGG
			22	4

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Riksantikvaren, Distriktskontor Trondheim
NIKU, Distriktskontor Trondheim

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Sissel Ramstad Skoglund
Anna H. Petersén

STIKKORD/KEYWORDS:

Redoksforhold, bevaring, kulturminner,
Miljøovervåking, nedbrytning

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordkvalitet og miljøovervåking i kulturlag fra
middelalderbyen Trondheim.

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Forundersøkelsen med jordkjemiske analyser viste at de fleste kulturlag hadde gode bevaringsforhold på tomten i Munkehaugsveita i Trondheim. Kulturlagene overvåkes i 5 år fra 2015-2020. Tre år etter installert overvåkingsutstyr, viser at overvåkingen fortsatt fungerer bra uten avvik. Målinger og data fra overvåkingen viser at det fortsatt er reduserende forhold i de fleste kulturlagene, med unntak av den høyest plasserte sensoren i Hull 4 på 10.10 moh. og Hull 1 ved 9.10 moh. hvor det var noe tørrere og oksiderende forhold. På slutten av 2018 har redoksforholdene sunket ytterligere sammenlignet med 2017. Redokspotensialet i sistnevnte øvre lag nærmer seg +200mV, som er en slags grenseverdi for oksiderende forhold. Dette lover bra for bevaring av organiske materialet i disse kulturlagene. Jordfuktigheten er blitt mere stabil i begge profiler igjennom 2018. Lav jordtemperatur i begge profiler, godt under 10°C, tilsier en lav nedbrytingsrate av organisk materialet. NIBIOs egne nedbrytingsforsøk på jordprøver fra to av kulturlagene i Hull 4 (9.1 og 7.9 moh.) har vist stabile forhold og nedbrytingsraten er nesten ikke målbar ved 10°C, både uten og med nærvær av oksygen. Dette viser at det er mulig å bevare organisk materiale bedre over lengre tid hvis kulturlagene holdes ved lave temperaturer.

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Sør Trøndelag

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Trondheim

STED/LOKALITET:

Munkehaugsveita

GODKJENT /APPROVED

TROND MÆHLUM

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

OVER BERGERSEN



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Innhold

FORORD	4
1 Introduksjon	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Målet for prosjektet	5
1.3 Avvik	5
2 Metoder og utstyr	7
2.2 Feltarbeide	7
2.3 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag	7
2.4 Feltarbeid i forbindelse med miljøovervåking	8
2.5 Miljøovervåking av arkeologiske kulturlag	8
2.6 Installasjon av sensorer i kulturlag	9
2.7 Installasjon av datalogger	9
3 Resultater og diskusjon	11
3.1 Bevaringsforholdene i begge profiler	11
3.2 Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull 4	12
3.3 Jordfuktigheten målt i kulturlag i Profil 1 i Hull 1 og Hull 4	14
3.4 Redoksforhold målt i kulturlag i profil 1 fra Hull 1 og Hull 4 sammenstilt og vurdert sammen med jordfuktighet	16
4 Konklusjon	20
5 Litteraturreferanser	21
Vedlegg	22

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 tredje status rapport i perioden 2015 til mars 2019.

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, 20.05. 2019



Ove Bergersen

Prosjektleder

1 Introduksjon

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 H. Petersén (prosjekt nr. 1020444). Prosjektet med feltarbeid ble igangsatt i september 2015. Området som skal overvåkes er tomten Munkehaugsveita 5-7 hvor det i tidlige år har vært en bensinstasjon, i dag parkeringsplass. Tidligere undersøkelser har vist godt bevarte kulturlag flere steder på denne tomten (Bergersen og Petersén 2009). Det er planlagt et nytt bygg på tomten.

Prosjektets varighet er satt til 5 år, 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.

Dette er en statusrapport over de første år av overvåkingsperioden fra installasjonen høsten 2015 til våren 2019. Den bygger videre på Status rapport I (Bergersen 2016 og Status rapport II (Bergersen 2018). På tomten har det vært byggeaktivitet gjennom 2017 og 2018 og nå er nytt hus ferdigstilt (se vedlegg 2). Ut fra vedlegg 2 er nytt hus satt opp over Hull 4 beskrevet i rapporten. Hull 1 kan ligge i overgang gårdsplass under steinheller og nytt bygg langs med Munkehaugsveita retning torget.

1.2 Målet for prosjektet

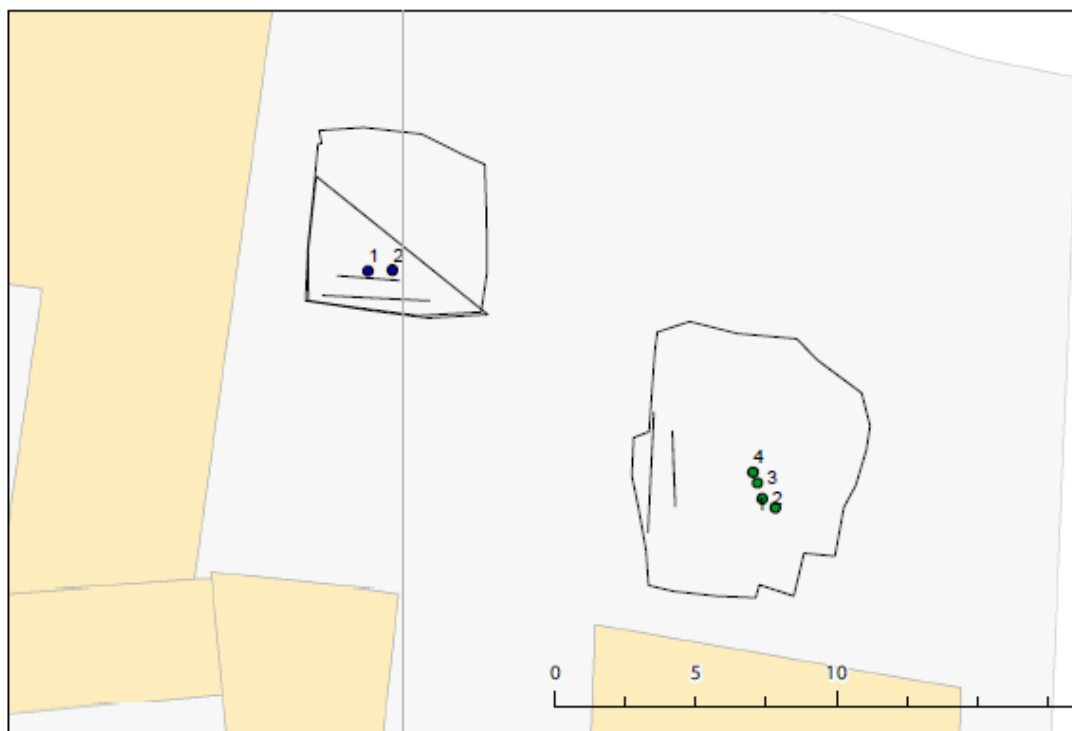
Målet med prosjektet er å overvåke kulturlag in-Situ ved å undersøke hva som skjer med bevaringen av umettede kulturlag før og etter etablering av nytt bygg over en periode på flere år.

1.3 Avvik

Alle sensorene har gitt gode og fornuftige resultater i hele måleperioden fra installasjon sept. 2015 til våren 2019. Det er ikke registrert avvik i målingene i denne perioden.



569700



EUREF89/UTM32

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 Metoder og utstyr

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 relativt 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 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 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 bentonitt duk 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). 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. Økt temperatur og svingninger i tørt og vått klima kan virke inn på nedbrytningen 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 redoks-sensorer 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 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 jordtemperatur og fuktighet (se tabell 1). Hele profilveggen ble dekket til med bentonitt duk 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.

Plassering av de forskjellige sensorene i hver sin profil er vist ved foto i Vedlegg 2

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
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	ift Lys brun mass	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	9.70	4.1/3				

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).

3 Resultater og diskusjon

3.1 Bevaringsforholdene i begge profiler

En detaljert beskrivelse av bevaringsforhold og bevaringstilstand er beskrevet i NIKU/NIBIO rapport (Petersen og Bergersen 2017). 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 fra Profil 1 Hull 1 og 4 etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.

Prøver	Dyp	Lag	Tørrestoff (%)	Organisk materiale (%)	Vanninnhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
	(moh)							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.	9.70	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%
	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
 ** Diesel forurenset

3.2 Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull 4

Det er målt små endringer i jordtemperatur i profil 1 Hull 1 & Hull 4. Gjennomsnittstemperaturen målt det første år er alle under 10 °C og 7 °C i 2017 i Hull 1 og Hull 4 (Tabell 3 & 4, Figur 2). I løpet av 2018 har beregnet gjennomsnittstemperatur sunket 1 grad til 5-6 °C i Hull 1 (Tabell 5). I Hull 4 ligger fortsatt temperaturen på 6-7 °C gjennom 2018. Dette viser at temperaturen har ikke økt etter at nye bygg er satt opp mellom 2017 og 2018. Max temperaturen i kortere periode om sommeren har ikke økt vesentlig i 2018. Den har sunket en grad i Hull 1 og er uforandret i Hull 4. Liten forskjell i temperatur mellom øvre og nedre profil 1 i begge hull er observert i 2018. Kun små svingninger observert i bunnen av Hull 4 som skyldes fluktuerende tilførsel av vann.

Temperaturmålingene følger middel utetemperatur (Figur 2). Lav temperatur er gunstig for bevaring av organisk materiale både med og uten nærvær av oksygen. Ved slike temperaturer skjer det lite oksidering av organisk materiale både med kjemisk eller mikrobiologisk aktivitet. 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.

Tabell 3 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2015-2016	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	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	8.8	9.2	9.0	6.6	7.3	8.1	8.5	8.8
Gjennomsnitt	8.8	9.1	8.9	7.3	7.4	8.1	8.3	8.7

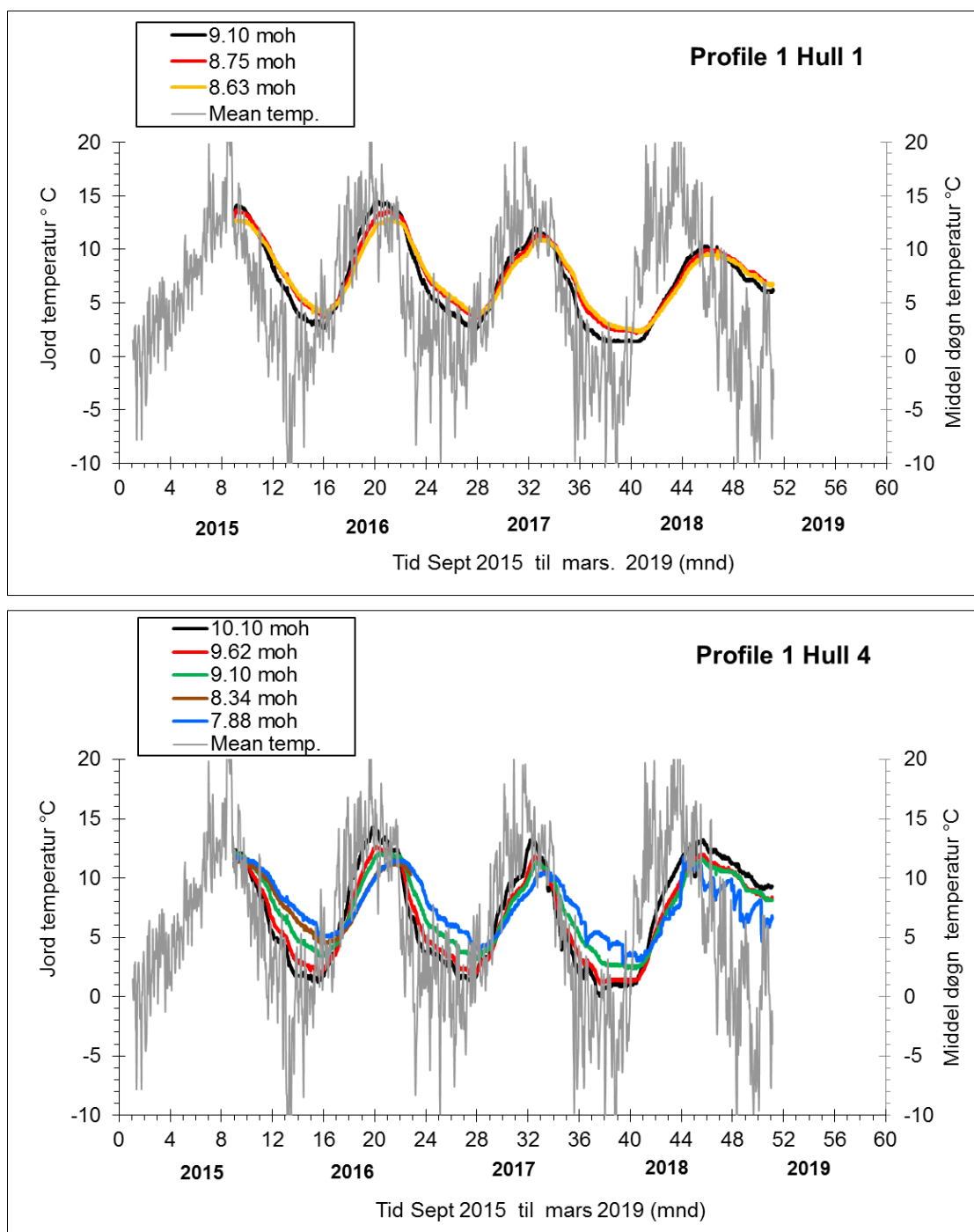
Tabell 4 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2017	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	2.5	3.6	3.8	1.3	1.9	3.1	3.9	4.0
Maks	12.0	11.4	10.9	13.2	11.9	11.4	10.3	10.4
Median	6.6	7.1	6.9	4.9	5.1	6.0	6.3	6.7
Gjennomsnitt	6.8	7.3	7.3	6.0	5.9	6.6	6.8	7.1

Tabell 5 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2018.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2018	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	1.4	2.1	2.2	0.0	1.1	2.3	2.9	2.8
Maks	10.3	10.0	9.8	13.2	12.0	11.6	10.6	11.8
Median	5.7	5.5	5.1	9.3	7.8	7.1	6.3	6.5
Gjennomsnitt	5.5	5.9	5.8	7.2	6.6	6.8	6.6	6.8

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 under anaerobe forhold ved 10 °C (Bergersen, 2016). Nye forsøk i 2017 gjennomført på jordprøver med luft viser samme resultat (data ikke vist).



Figur 2. Jordtemperatur målt i 3 ulike kulturlag fra Hull1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med middel utetemperatur per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til våren 2019.

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

Jordfuktigheten registrert i profilene på tomten Munkehaugsveita i Trondheim ligger noe høyere i profil 1 Hull 1 sammenlignet med profil 1 Hull 4 første år av overvåkingen (Tabell 6). Gjennomsnittlig jordfuktighet beregnet i Hull 1 var 60-70 %. I øvre lag ble fuktigheten målt noe lavere omkring 50 % i de første måneder, men steg og fluktuerte mye i siste del av måleperioden av 2017 med økt nedbør som tydelig påvirker mer det øvre kulturlaget mer enn i dypere lag i Hull 1 (Figur 3 over). Derfor er det også observert en økning i gjennomsnitt jordfuktighet i øvre del av profilen på 9.10 moh. fra 2016 til 2017 (Tabell 6 og 7). Jordfuktigheten er redusert i lag 1.1 (9.10 moh.) fra 60 til 53 % i 2018 etter at nytt bygg er satt opp med fortsatt grad av fluktuasjoner (Figur 3 over og Tabell 8). I hull 4 har fluktuasjonen avtatt i bunnen av profilen og viser stabil høy jordfuktighet (Figur 3 under og Tabell 8). Tabell 6, 7 & 8 viser at i overvåkingsperioden fra 2015 til 2018, var fuktigheten gjennomsnittlig lik i de ulike kulturlag fra Hull 4. En svak økning fra 84 % til 99 % ble observert i kulturlag 4.5 (7.88 moh.). De øvrige sensorer viser fortsatt mer stabil jordfuktighet omkring 40 % i toppen (10.10) og midten (9.62 ned til 8.34 moh.) av profilen i hele måleperioden fram til 2018 (Figur 3 under).

Tabell 6 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Jord fuktighet 2015-2016 %	Fukt. 1 .1 Hull 1 9.10 moh	Fukt. 1 .2 Hull 1 8.75 moh	Fukt. 1 .3 Hull 1 8.63 moh	Fukt. 4.1 Hull 4 10.10 moh	Fukt. 4.2 Hull 4 9.62 moh	Fukt. 4.3 Hull 4 9.10 moh	Fukt. 4.4 Hull 4 8.34 moh	Fukt. 4.5 Hull 4 7.88 moh
Min	46	48	62	32	37	37	39	44
Maks	98	67	73	36	75	39	42	100
Median	59	60	68	34	44	38	40	87
Gjennomsnitt	60	60	68	34	49	38	40	84

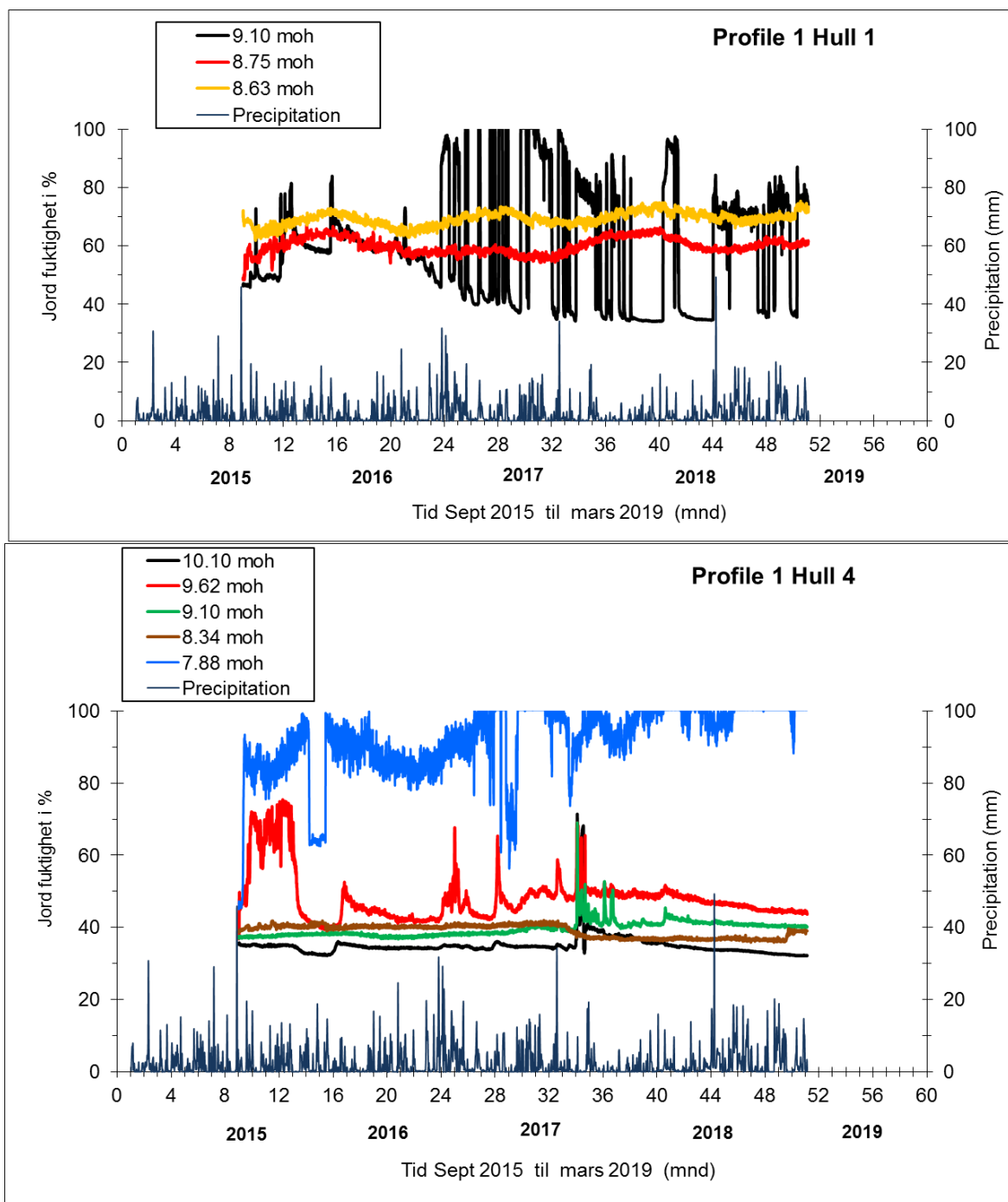
Tabell 7 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017.

Jord fuktighet 2017 %	Fukt. 1 .1 Hull 1 9.10 moh	Fukt. 1 .2 Hull 1 8.75 moh	Fukt. 1 .3 Hull 1 8.63 moh	Fukt. 4.1 Hull 4 10.10 moh	Fukt. 4.2 Hull 4 9.62 moh	Fukt. 4.3 Hull 4 9.10 moh	Fukt. 4.4 Hull 4 8.34 moh	Fukt. 4.5 Hull 4 7.88 moh
Min	34	54	65	33	42	38	37	56
Maks	100	65	73	71	69	69	42	100
Median	64	58	69	35	49	39	40	97
Gjennomsnitt	65	59	69	36	49	40	40	94

Tabell 8 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2018.

Jord fuktighet 2018 %	Fukt. 1 .1 Hull 1 9.10 moh	Fukt. 1 .2 Hull 1 8.75 moh	Fukt. 1 .3 Hull 1 8.63 moh	Fukt. 4.1 Hull 4 10.10 moh	Fukt. 4.2 Hull 4 9.62 moh	Fukt. 4.3 Hull 4 9.10 moh	Fukt. 4.4 Hull 4 8.34 moh	Fukt. 4.5 Hull 4 7.88 moh
Min	34	57	66	33	44	40	36	86
Maks	98	66	75	38	52	45	38	100
Median	38	61	71	34	48	41	37	100
Gjennomsnitt	53	61	71	35	48	41	37	99

Det var en svak nedgang i jordfuktighet fra den midtre del av profilen 2018 etter at nytt hus er bygget ferdig. Det kan se ut som om vann (evt. innsig eller mulig grunnvann) samler seg i bunnen av profilene. Ved installasjon ble profilen ved Hull 1 og Hull 4 fylt med vann i bunnen uten at det kom nedbør. Over tid er det sensoren i bunnen av Hull 4 på 7.88 moh, som påvirkes mest med høy jordfuktighet siden sensoren 4.5 ligger omkring en meter dypere enn i sensor 1.3 Hull 1 (8.63 moh.). I sistnevnte Hull 1 er det påvist et høyere gjennomsnitt i jordfuktighet fra begge dypere lag.



Figur 3. Jordfuktighet målt i 3 ulike kulturlagdyb fra Hull 1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til våren 2019.

3.4 Redoksforhold målt i kulturlag i profil 1 fra Hull 1 og Hull 4 sammenstilt og vurdert sammen med jordfuktighet

Redokspotensialet indikerer hvor mye oksygen som er til stedet i jordens porevolum ved 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 kulturlagene er fylt med vann. Tette kulturlag med mindre organisk innhold og lavere jordfuktighet kan også hindre at luft trenger ned til kulturlagene. Redoksforholdene i både Hull 1 og Hull 4 profil 1 viser at redoksforholdene har sunket i øvre lag gjennom overvåkingsperioden (Figur 4). Figur 5 & 6 viser også lavere og stabilt redokspotensialet i nedre del av profil 1 i både Hull 4 og Hull 1 hvor jordfuktigheten var høyere i både 2016, 2017 og 2018.

Beregninger viser at gjennomsnittsverdien målt i begge redoks sensorer i Hull 1 viste nedgang i 2017 sammenlignet med 2015/2016 (Tabell 9 & 10). Gjennom 2018 sank gjennomsnittet fra begge redoks-sensorene i Hull 1 ned til negative verdier (Tabell 11). De samme tabeller viser mindre forskjell i beregnet gjennomsnitt verdi fra Hull 4 i 2015 til 2017. I øvre kulturlag ble det observert videre nedgang i redoksforholdene i begge kulturlag i løpet av 2018 fra både profil 1 Hull 4, men størst reduksjon i profil 1 Hull 1 (Figur 4).

Tabell 9 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

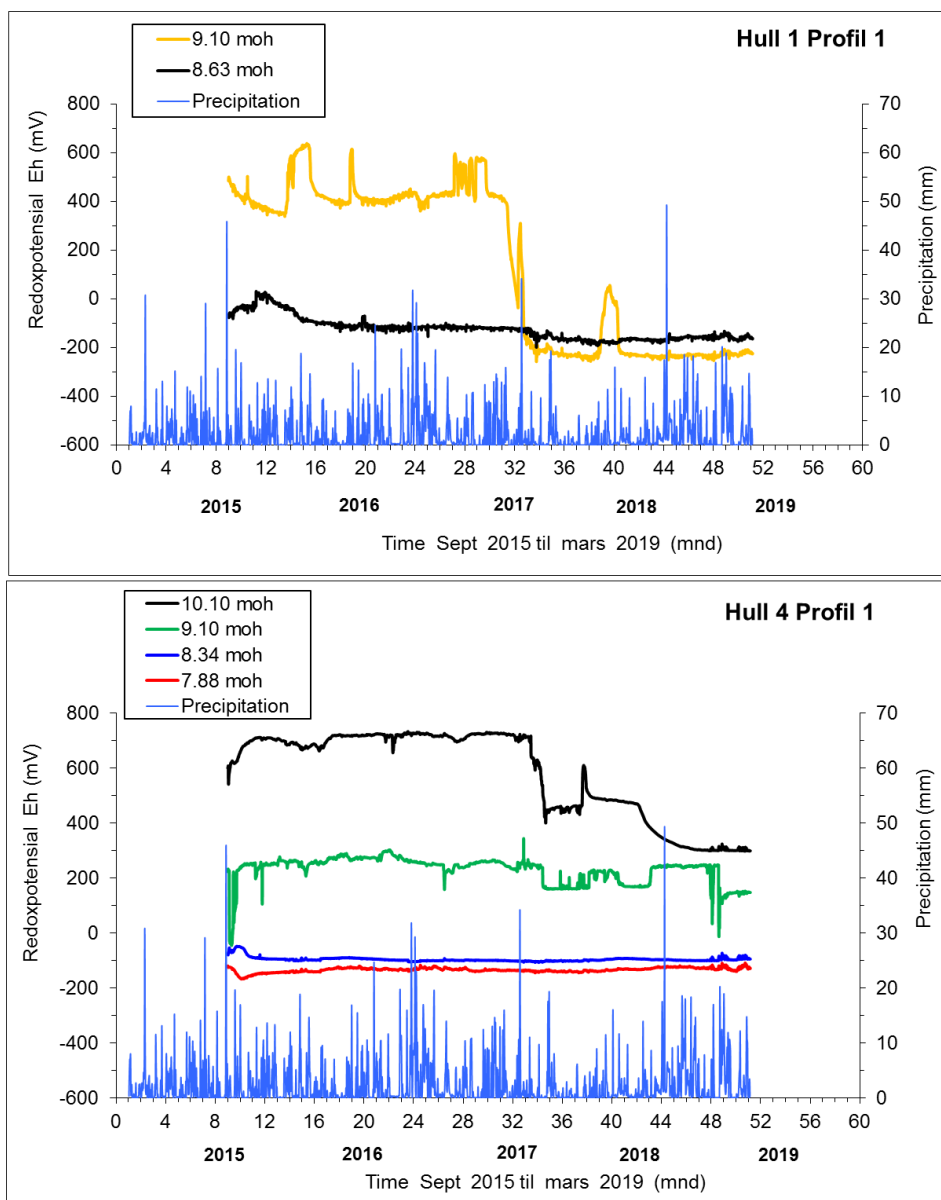
Redox- condition	Redox 1.1 9.10 moh	Redox 1.3 8.63 moh	Redox 4.1 10.10 moh	Redox 4.2 9.10 moh	Redox 4.4 8.34 moh	Redox 4.5 7.88 moh
2015 & 2016	mV	mV	mV	mV	mV	mV
Min	339	-140	540	-46	-106	-168
Max	639	31	732	302	-49	-118
Median	412	-99	709	259	-95	-135
Average	433	-78	699	253	-93	-138

Tabell 10 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017.

Redox- condition	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
2017	mV	mV	mV	mV	mV	mV
Min	-257	-198	399	157	-108	-146
Max	597	-99	729	343	-94	-120
Median	419	-120	714	245	-101	-137
Average	213	-128	661	231	-102	-136

Tabell 11 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2018.

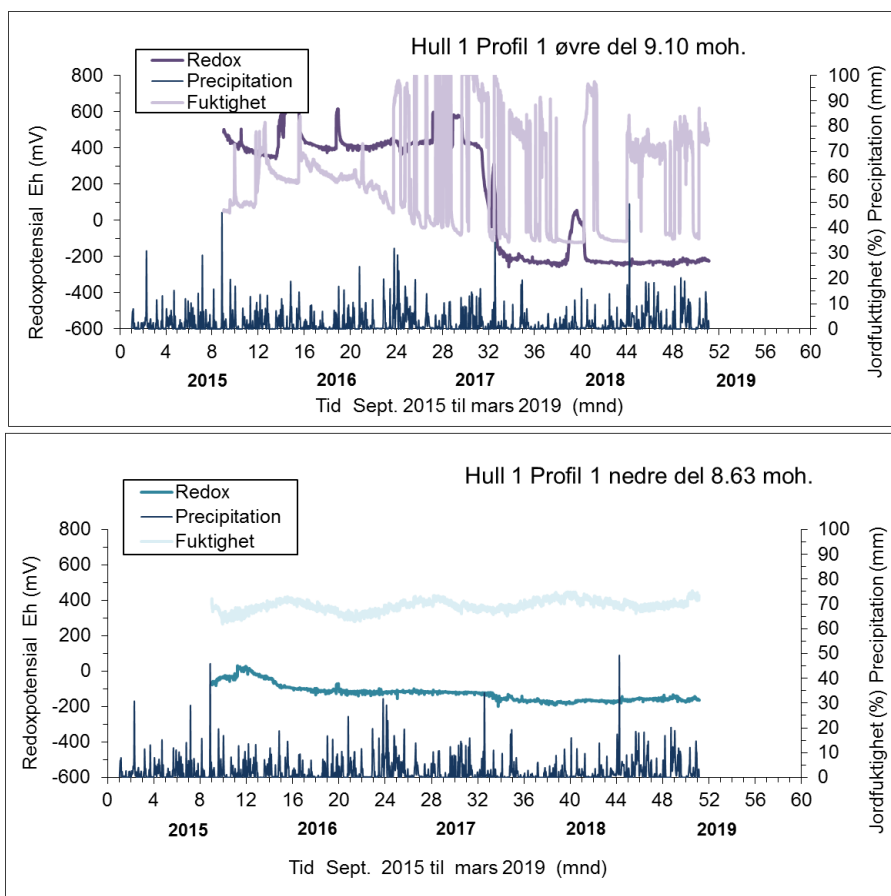
Redox- condition	Redox 1.1 9.10 moh	Redox 1.3 8.63 moh	Redox 4.1 10.10 moh	Redox 4.2 9.10 moh	Redox 4.4 8.34 moh	Redox 4.5 7.88 moh
2018	mV	mV	mV	mV	mV	mV
Min	-256	-192	298	-13	-104	-145
Max	56	-135	609	248	-85	-117
Median	-231	-166	397	224	-99	-132
Average	-206	-165	401	208	-98	-132



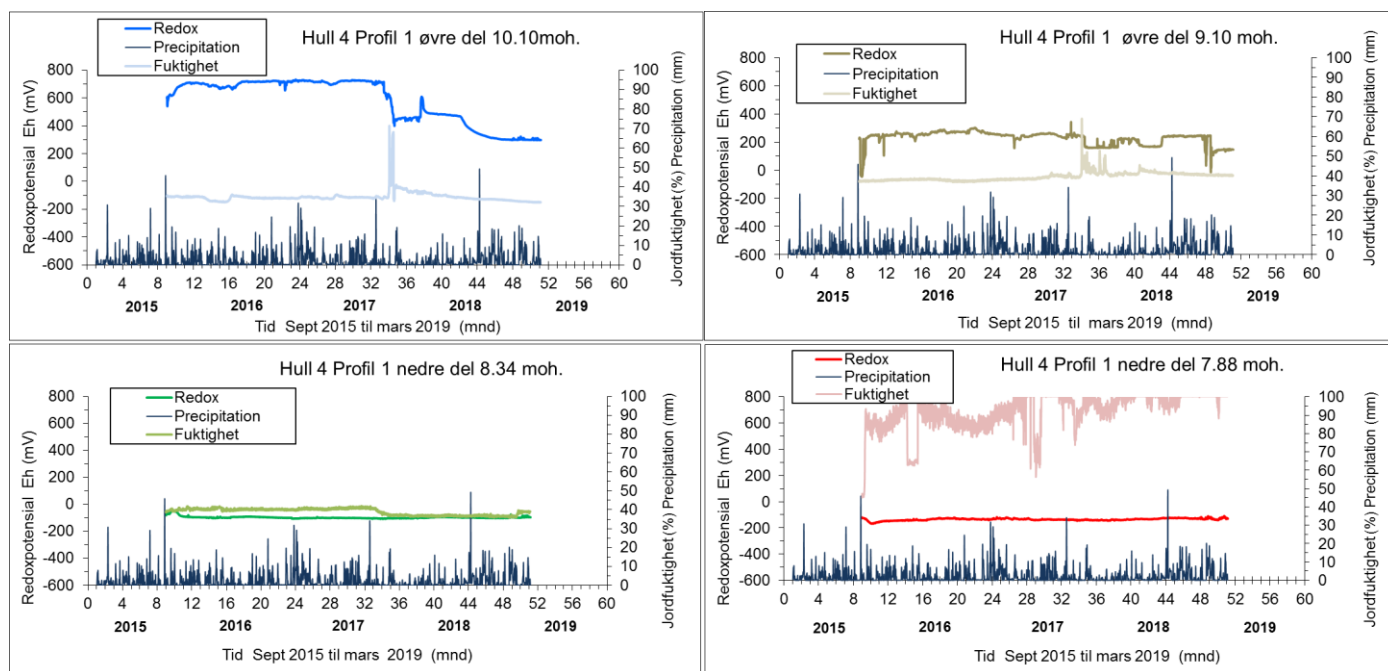
Figur 4. Redoksforhold målt fra profil 1 fra Hull 1 (over) og profil 1 Hull 4 (under), sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til våren 2019.

En ser at øverste kulturlag profil 1 Hull 4 på 10.10 moh. gir bedre beskyttelse i 2018 enn fra tidligere år ved at redokspotensialet nå er sunket fra +600 mV til +400mV og +300 mV i overgangen 2018 til 2019 (Figur 4). Kulturlaget i midten av profil 1 Hull 4 på 9.10 moh. viser redokspotensialet i gjennomsnitt omkring +200 mV. Her vil det være midlere bevaringsforhold ved at redoksverdiene ligger i grenseland hvor man kan påvise og måle nærvær av oksygen eller ikke. Dette er beskrevet senere i kap. 3.4 (Figur 7). I nedre lag er det mer stabile beskyttende anoksiske forhold uten oksygen (Figur 4). Dette samsvarer med bevaringsforholdene i Hull 1 for organisk materiale vist i Tabell 2.

Redoksforhold sammenstilt med jordfuktigheten på samme høydemeter er illustrert i ulike figurer for å vise øvre og nedre deler av profilveggene fra begge Hull (Figur 5 & 6). Figur 5 viser at i øvre del av profil 1 Hull 1 (9.10 moh.) har økt nedbør hatt påvirkning og gitt høyere jordfuktighet som fluktuerer, og som over tid har redusert redokspotensialet fra +433 i 2016 til negativ verdi ned til -206 mV i 2018. I nedre del av profilen på (8.63 moh.) har det skjedd liten forandring hvor redoksforholdene er negative og jordfuktigheten ligger stabilt på 60-70 %.



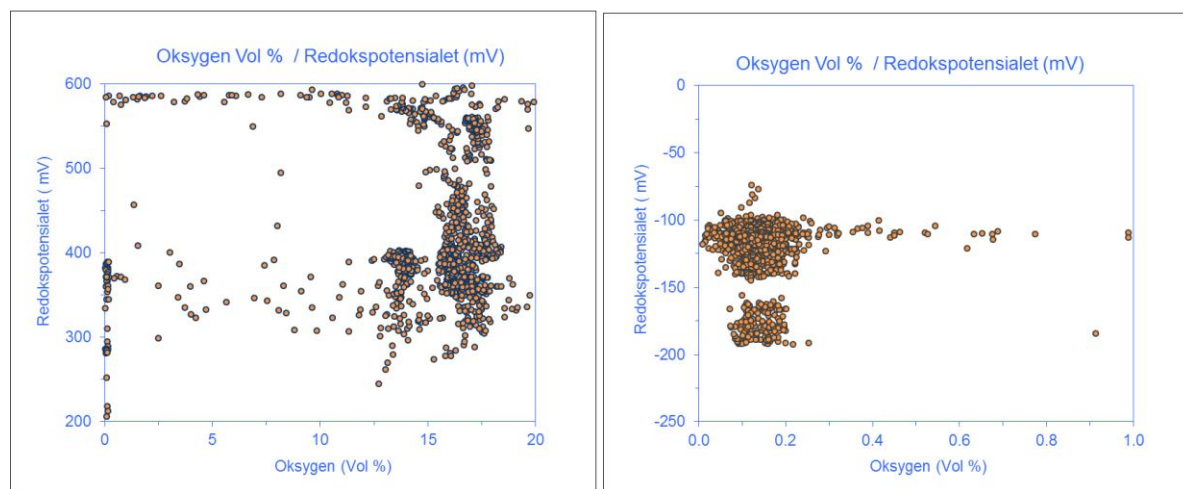
Figur 5. Jordfuktighet og redoksforhold målt i øvre og nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 1 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til våren 2019.



Figur 6 Jordfuktighet og redoksforhold målt i øvre og nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 4 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til våren 2019

Figur 6 fra øvre og midtre del av profil 1 Hull 4 viser at lavere jordfuktighet gir oksiderende redoksførhold med målt redoks verdier opp mot +700 mV (10.10 moh.) og ned til +252 mV (9.10 moh.). Både jordfuktighet og redokspotensialet varierer lite med nedbør. Gledelig er at redokspotensialet har sunket til +300 mV mot slutten av 2018 etter at nytt bygg er satt opp. Vi håper dette vedvarer og går ytterligere nedover igjennom 2019 og 2020. Derfor viser øvre del i begge profiler noe mindre oksiderende forhold sammenlignet med nedre del i 2018. Nedre del under 9 moh. viser negative redoks verdier (**Tabell 11**).

Overvåking utført i miljøbrønner hvor oksygen og redokspotensialet er målt sammen, fra Anders Madsens gt. i Tønsberg viser at redoks verdier under +200 mV ikke gir store forskjellige verdier. Forskjellen på fra +200 til -400mV viste løst oksygen 0,3 til 0,1 Vol % (Bergersen 2014). 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 7). 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. Våre tidligere målinger indikerer at redokspotensialet ved +200 mV kan være en slags kritisk grenseverdi for hvor mye oksygen som er tilstede i kulturlagene, og som igjen kan påvirke nedbryting av organisk materiale i kulturlag. Derfor er det kun ett kulturlag i Munkehaugsveita som ligger over denne grense, men har sunket vesentlig det siste året etter nytt bygg er kommet på plass (Tabell 11). De siste verdiene er ytterligere redusert fra +400 mV til +300 mV.



Figur 7. 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, ligger mellom 0,1 til 0,2 Vol %.

4 Konklusjon

- Miljøovervåking av arkeologisk kulturlag på tomten Munkehaugsveita i Trondheim (Profil 1 Hull 4) i perioden september 2015 til desember 2018 viser reduserende og gode bevaringsforhold fra under 9.10 moh. Oksiderende forhold som ble påvist i øvre kulturlag på 10.1 moh. i perioden 2015 og 2017 er halvert fra +600 mV til +300 mV i slutten av 2018 som gir lavt innhold av oksygen.
- Profilen i Hull 1 viser høyere jordfuktighet sammenstilt med Hull 4 og redoksforholdene i øvre del av profilen er i ferd med å bli anoksisk og reduserende i 2017. Igjennom 2018 sank redoksforholdene, og viser nå lavere redokspotensialet i hele profilen fra 9.10 til 8.63 moh. Dette gir bedre bevaringsforhold for organisk materiale.
- Beregnet gjennomsnittstemperatur i begge profiler er omkring 7 °C, noe som er gunstig for bevaring av organisk materiale. Når det i tillegg er anoxiske og reduserende forhold i kulturlagene, vil muligheten for bevaringen øke ytterligere.
- NIBIO mener at resultatet fra overvåkingen de første 3 år før og etter nye bygg er ferdigstilt på tomta i Munkehaugsveita gir et godt grunnlag for å vurdere endringen i bevaringsforhold. Sistnevnte krever at ikke utstyret skades.

5 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.

Bergersen O. (2016). Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. Statusrapport I per september 2016. NIBIO rapport Vol 2 (17). ISBN 978-82-17-01577-2

Bergersen O. (2018). Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. Statusrapport II per oktober 2017. NIBIO rapport Vol 4 (18/00079)

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.

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

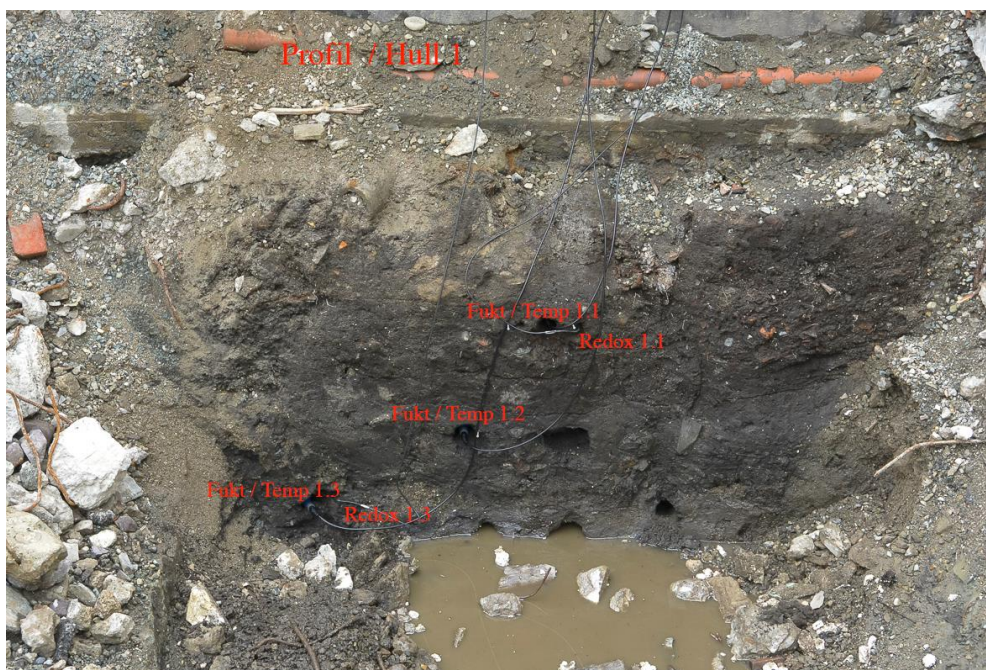
Vedlegg

No Subject

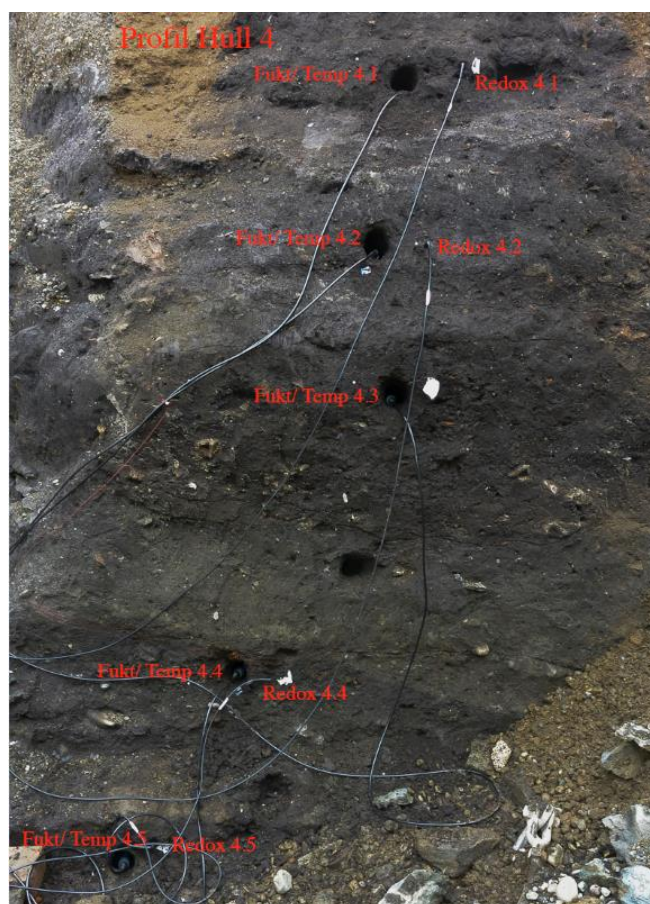
- 1 Illustrering av profiler med plassering av sensorer
- 2 Foto fra start og under overvåking
- 3 Koordinater fra Hull 1 og Hull 4
- 4 Bevaringsskala av kulturlag og redoksforhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer

Vedlegg 1

Foto av Hull 1 og 4 og etter nytt bygg ferdigstilt på tomten i 2018



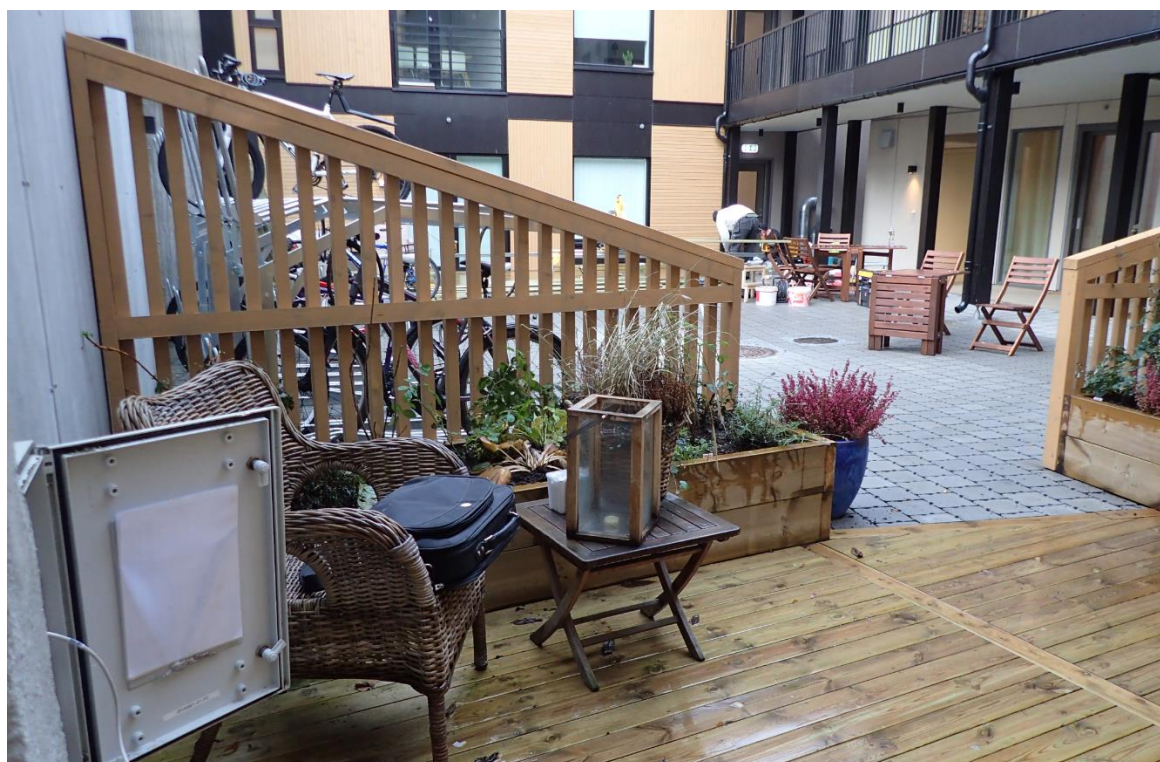
Hull 1 Profil 1 Munkehaugsveita med sensor plassert i profilvegg.



Hull 4 profil 1: Munkehaugsveita med sensorer

Vedlegg 2

Foto ved start og etter nytt bygg ble ferdigstilt på tomten i 2018



Munkehaugsveita 2018 fotografert av Lasse Weiseth, NIBIO Kvithamar

Vedlegg 3

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

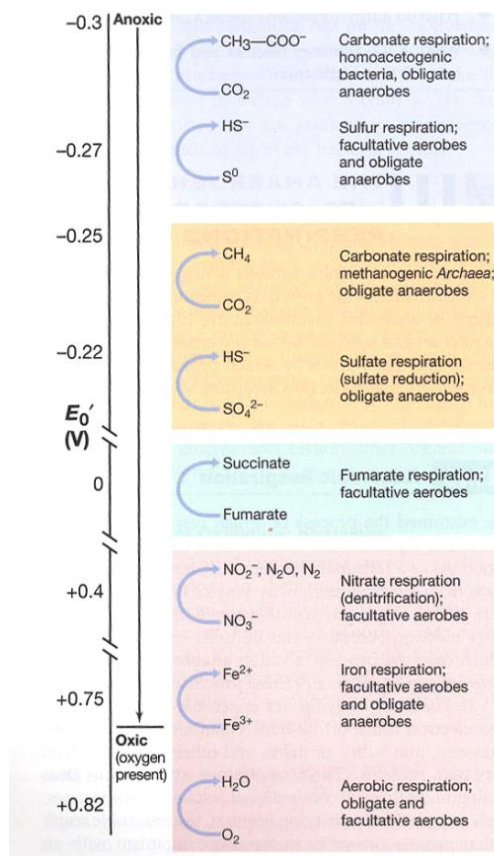
MUNKVHULL4-SAMPLES, 04.01.2016, Page 1						
FID	Shape	PT_ID	NORTHING	EASTING	ELEVATION	DESCRIPTIO
0	Point	7	7034179,35	569712,4651	7,8884	4.5
1	Point	6	7034178,9707	569712,7201	8,3383	4.4
2	Point	5	7034178,6218	569712,6751	8,5685	4.6
3	Point	4	7034178,4218	569712,6296	9,1035	4.3
4	Point	2	7034178,5263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

Vedlegg 4

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.



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen før og etter nybygg på tomt i Munkhaugveita 5-7 i Trondheim

Sluttrapport 2015 til og med 2020

NIBIO RAPPORT | VOL. 7 (20) | 2021



TITTEL/TITLE

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen før og etter nybygg på tomt i Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Sluttrapport 2015 til og med 2020

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR	SAKSNR
04.02.2021	7(20) 2021	Åpen	8929	20/00079
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER:	ANTALL VEDLEGG	
978-82-17-02756-0	2464-1162	36	5	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Riksantikvaren, Distriktskontor Trondheim
NIKU, Distriktskontor Trondheim

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Sissel Ramstad Skoglund
Anna H. Petersén

STIKKORD/KEYWORDS:

Redoksforhold, bevaring, kulturminner,
Miljøovervåking, nedbrytning org. materiale

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordkvalitet og miljøovervåking i kulturlag fra
middelalderbyen Trondheim.

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Dette er en sluttrapport som oppsummerer 5 års miljøovervåking av kulturminner i jord for tomta Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Forundersøkelsen med jordkjemiske analyser viste at de fleste kulturlag hadde gode bevaringsforhold. Kulturlagene er overvåket med sensorer for jordtemperatur, fuktighet og redoksforhold i 5 år fra 2015-2020. Utstyret har fungert bra uten større avvik i måleperioden. Målinger og data viser at det fortsatt er reduserende forhold i de fleste kulturlagene etter 5 år. Den høyest plasserte sensoren i Hull 4 på 10.10 moh. viser lavere redokspotensialet fra +600 til +280 mV etter 5 års overvåking. Her var det noe tørrere og oksiderende forhold i starten. Temperaturen har steget fra 7-10°C i snitt i begge profiler. Sistnevnte er tydelig de tre siste årene etter at nytt hus er satt opp etter 2018. En ser også at svingningene i temperatur er lavere mellom sommer og vinter. Profil 1 Hull 1 viser reduserende forhold og fortsatt gode bevaringsforhold. Jordfuktigheten er blitt mere stabil i begge profiler gjennom overvåkingsperioden, med unntak av øvre lag i Hull 1 og bunn i Hull 4, som ser ut til å være påvirket av grunnvann. Lav jordtemperatur i begge profiler, godt under 10°C, tilsier en lav nedbrytingsrate av organisk materialet. NIBIOs nedbrytningsforsøk på jordprøver fra to av kulturlagene i Hull 4 (9.1 og 7.9 moh.) har vist stabile forhold og nedbrytingsraten er nesten ikke målbar ved 10°C, både uten og med nærvær av oksygen. Dette viser at organisk materiale blir bedre bevart over lengre tid hvis kulturlagene holdes ved lave temperaturer. Miljøovervåkingen gir grunnlag for å anta at nye bygg over områder med verneverdige kulturlag i Munkhaugveita 5-7 ikke har hatt en direkte negativ påvirkning på de kulturlag som er overvåket. Kun øvre del av profil 1 Hull 4 kan bli påvirket hvis temperaturen øker eller holder seg over 12°C.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Sør Trøndelag
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Trondheim
STED/LOKALITET: Munkhaugveita 5-7

GODKJENT /APPROVED**TROND MÆHLUM****PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER****OVER BERGERSEN****NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Innhold

FORORD	4
1 Introduksjon	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Målet for prosjektet	5
1.3 Avvik	5
2 Metoder og utstyr	7
2.1 Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner	7
2.2 Feltarbeide.....	7
2.3 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag – kjemisk analyser av jordprøver.	7
Grunnleggende analyseparameter S1 analyser	8
Miljøparameter S2 analyser	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 Stabilitet og nedbryting ved undersøkelse av jordprøver fra midten og bunnen ved Profil 1 Hull 4.....	12
3 Resultater og diskusjon	13
3.1 Forundersøkelse, vurdering av bevaringsforholdene i begge profiler	13
3.2 Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull 4.....	14
3.3 Jordfuktigheten målt i kulturlag i Profil 1 i Hull 1 og Hull 4	16
3.4 Redoksforhold målt i kulturlag i profil 1 fra Hull 1 og Hull 4 sammenstilt og vurdert sammen med jordfuktighet.....	19
3.5 Nedbrytningsstudier av kulturlagsprøver fra Munkhaugveita 5-7 Profil 1 Hull 4.....	26
4 Konklusjon	28
5 Litteraturreferanser.....	29
Vedlegg.....	30

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 Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. I september 2015 ble det installert overvåkingsutstyr som skal overvåke hvordan kulturlagene fra middelalderen bevares over tid in situ. Rapporten her er sluttrapport for overvåkingsperioden 2015 til ut året 2020. I rapporten inngår også data fra tidligere årlige statusrapporter.

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, 2.02. 2021



Ove Bergersen

Prosjektleder

1 Introduksjon

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 Munkhaugveita 5-7 som inngår i middelalderbyen Trondheim. Prosjektet utføres i samarbeid med lokalkontoret til NIKU i Trondheim ved Anna H. Petersén (prosjekt nr. 1020444). Prosjektet med feltarbeid ble igangsatt i september 2015. Området som skal overvåkes er tomten Munkhaugveita 5-7 hvor det tidligere har vært en bensinstasjon, i dag parkeringsplass (se kart i Figur 1). Tidligere undersøkelser har vist godt bevarte kulturlag flere steder på denne tomten (Bergersen og Petersén 2009). Det skal etableres et nytt bygg på tomten i overvåkingsperioden.

Prosjektets varighet var satt til 5 år, med overvåking før og etter et ferdigstilt hus er satt opp på tomten. 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 nytt hus bygges på denne tomten.

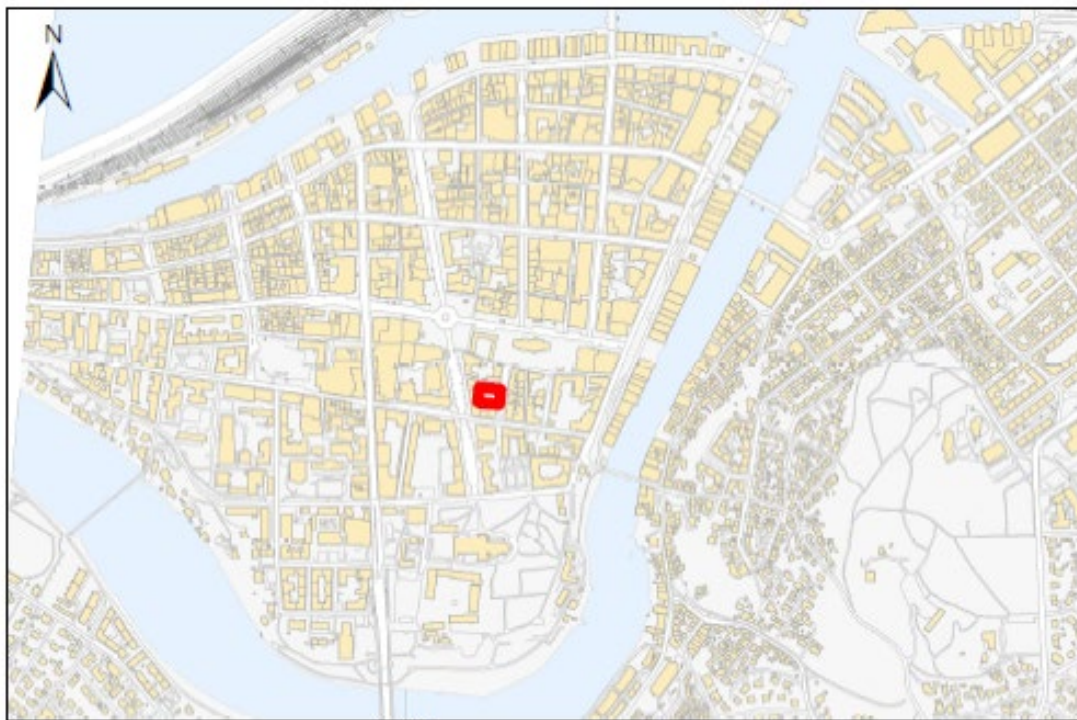
Dette er en sluttrapport over alle år med overvåking fra installasjonen høsten 2015 til slutten av 2020. Den bygger videre på status rapport I (Bergersen 2016), status rapport II (Bergersen 2018) og status rapport III (Bergersen 2019). Sensorene er satt inn i kulturlag på to ulike lokaliteter som i rapporten refereres som Hull 1 og 4 (kart i figur 1, GPS i vedlegg 3. På tomten har det vært byggeaktivitet gjennom 2017 og 2018 og i 2019 er nytt hus ferdigstilt (se vedlegg 2). Nytt hus satt opp over Hull 4 beskrevet i rapporten. Hull 1 ligger under steinheller i overgang gårds plass og nytt bygg langs med Munkhaugveita 5-7 i retning torget.

1.2 Målet for prosjektet

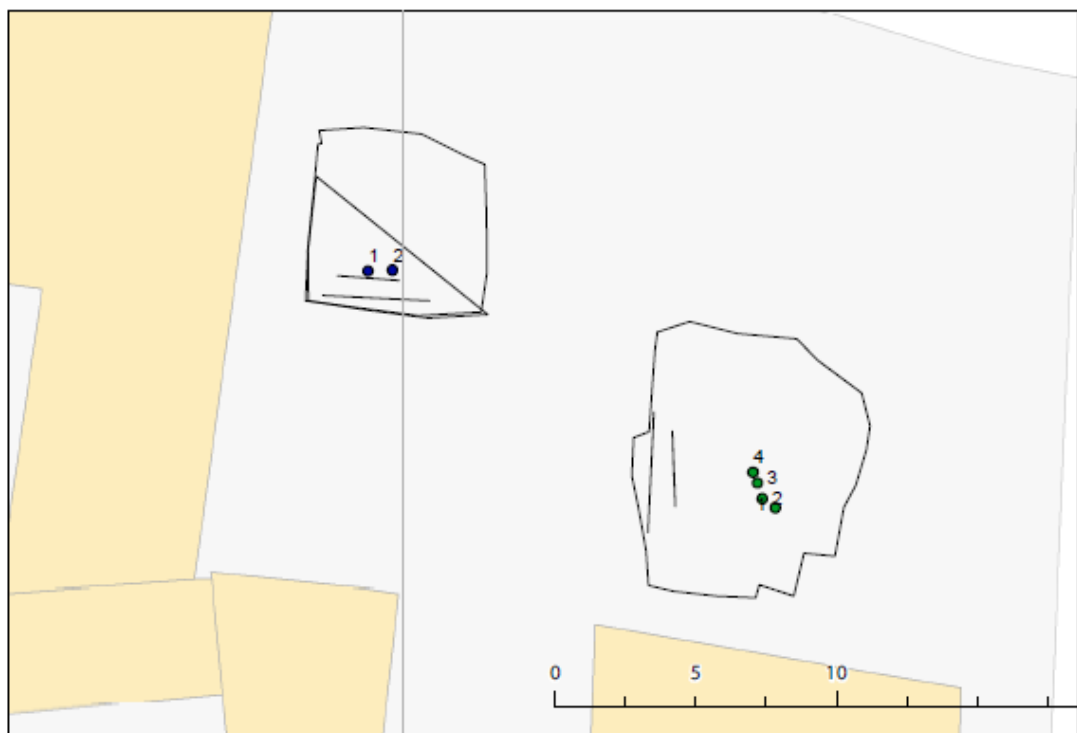
Målet med prosjektet er å overvåke kulturlag in situ ved å undersøke hva som skjer med bevaringen av kulturlag i umettet sone (over grunnvannsnivået) før og etter etablering av nytt bygg over en periode på 5 år.

1.3 Avvik

Alle sensorene har gitt gode og fornuftige resultater i hele måleperioden fra installasjon september 2015 til ut 2020. Det er ikke registrert avvik i målingene i måleperioden. Sensor temperatur 4.1 i Hull 4 sluttet og gi normale verdier starten av januar 2021.



569700



EUREF89/UTM32

Kartgrunnlag: Statens kartverk, Geovekst og kommuner

Figur 1. Oversiktskart over Trondheim og tomten i Munkhaugveita 5-7. Hull 1 til venstre og Hull 4 til høyre (NIKU).

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

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 – kjemisk 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 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 nitrat-reduserende forhold når alt 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 og ikke minst temperaturer. I vedlegg 3 er det illustrert en enkel oversikt som viser generelt hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. I flere tilfeller vil man få grense-overganger. 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 gjennomstrømning 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 replikanter 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 (Stookey, 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 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 bentonitt duk 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). Varme-konduktiviteten (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. Temperatur-svingningene 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 Installasjon 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 redoks-sensorer 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 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 jordtemperatur og fuktighet (se tabell 1). Hele profilveggen ble dekket til med bentonitt duk før den ble gjenfylt. Koordinatene hvor sensorene ble plassert er vist i vedlegg 3.

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 nett) 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.

Plassering av de forskjellige sensorene i hver sin profil er vist ved foto i Vedlegg 1.

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
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	ift Lys brun mass	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	9.70	4.1/3				

Ofte kan dataserier fluktuere 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 Stabilitet og nedbryting ved undersøkelse av jordprøver fra midten og bunnen ved Profil 1 Hull 4

Tre flasker (120mL) ble tilført 5 gram jord fra hvert av kulturlagene med god bevaring SOPS verdi A4 (9.10 moh og 7.88 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 CO₂ inne i hver flaske ble målt ca hver måned på en GC-gassanalysator Agilent micro gas chromatograph (Agilent Technologies 3000A). Hensikten med disse forsøkene er å se hvor stabilt det organiske materialet er, om det brytes ned med luft (aerobt) og når luft ikke er tilstede (anaerobt) ved lav temperatur.

Etter gassmålingene inne i flasken ble det beregnet akkumulert CO₂ i hver av flaskene. Ut fra disse målinger ble decay raten (nedbrytingsraten) beregnet over tid i mg karbon (CO₂) per g organisk material (OM) per dag. Forsøket er en langtidsstudie på 500 dager utført parallelt med overvåkingen på tomten in situ i 5 år.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Forundersøkelse, vurdering av bevaringsforholdene i begge profiler

En detaljert beskrivelse av bevaringsforhold og bevaringstilstand er beskrevet i NIKU/NIBIO rapport (Petersen og Bergersen 2017). Tabell 2 viser oversikt over kjemiske- og bevaringsforhold 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 fra Profil 1 Hull 1 og 4 etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.

Prøver	Dyp (moh)	Lag	Tørrestoff (%)	Organisk materiale (%)	Vann innhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								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.	9.70	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%
	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
	** Diesel forurenset

3.2 Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull 4

Det er målt små endringer i jordtemperatur i profil 1 Hull 1 & Hull 4. Gjennomsnittstemperaturen målt det første år er alle under 10°C og 7°C i 2017 i Hull 1 og Hull 4 (Tabell 3 & 4, Figur 2). I løpet av 2018 har beregnet gjennomsnittstemperatur sunket 1 grad til 5-6 °C i Hull 1 (Tabell 4). I Hull 4 ligger fortsatt temperaturen på 6-7 °C gjennom 2018. Dette viser at jordtemperaturen ikke har økt etter at nye bygg er satt opp i 2017 og 2018. Max temperaturen i kortere periode om sommeren har ikke økt vesentlig i 2018. Den har sunket en grad i Hull 1 og er uforandret i Hull 4. Liten forskjell i temperatur mellom øvre og nedre profil 1 i begge hull er observert i 2018. Det er kun små svingninger observert i bunnen av Hull 4 som sannsynligvis skyldes fluktuerende tilførsel av vann.

Tabell 3. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2015-2016	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	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	8,8	9,2	9,0	6,6	7,3	8,1	8,5	8,8
Gjennomsnitt	8,8	9,1	8,9	7,3	7,4	8,1	8,3	8,7

Tabell 4. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017 og 2018.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2017	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	2,3	3,6	3,8	1,3	1,9	3,1	3,9	4,0
Maks	12,0	11,4	10,9	13,2	11,9	11,4	10,3	10,4
Median	6,2	6,7	6,5	4,6	4,7	5,8	6,2	6,5
Gjennomsnitt	6,7	7,2	7,2	5,8	5,8	6,5	6,7	7,0

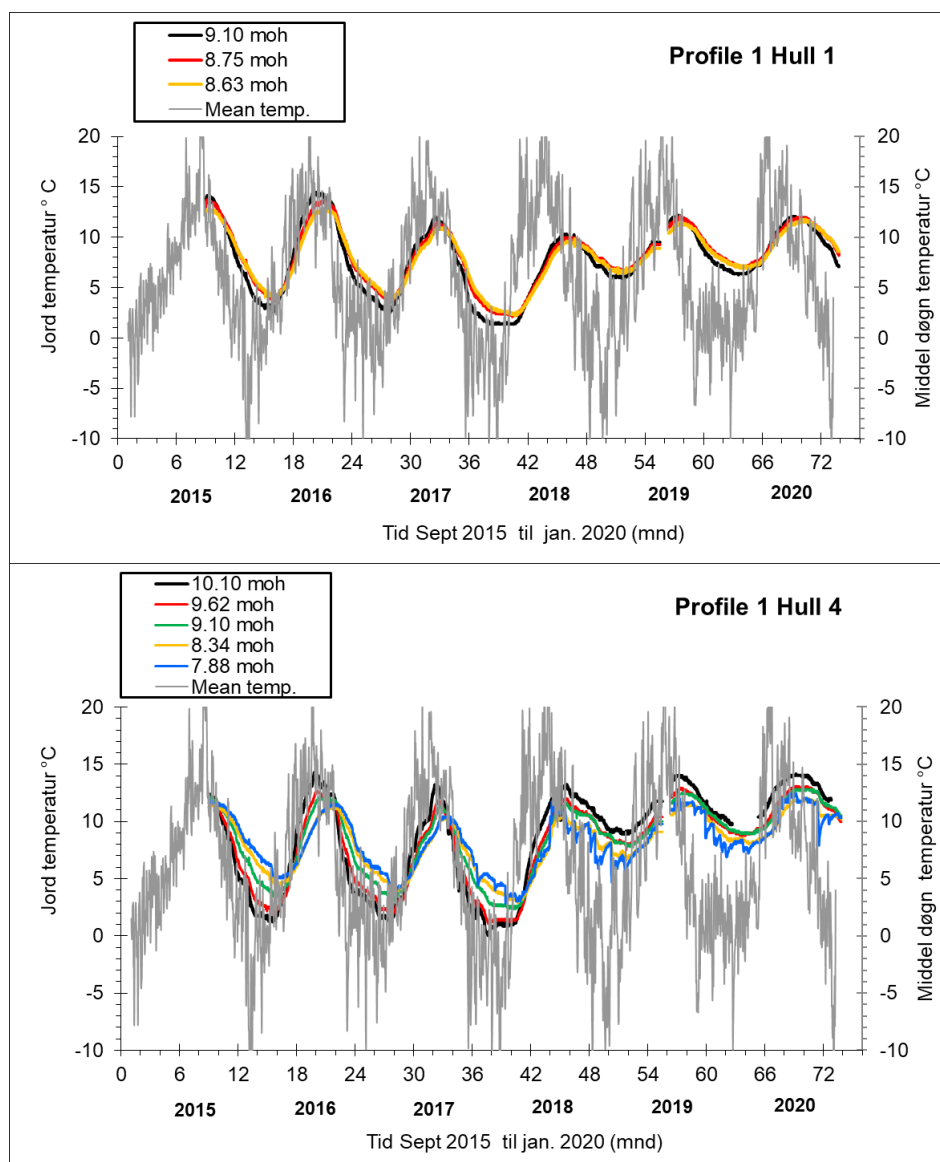
Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2018	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	9.10 moh	8.75 moh	8.63 moh	10.10 moh	9.62 moh	9.10 moh	8.34 moh	7.88 moh
Min	1,4	2,1	2,2	0,0	1,1	2,3	2,9	2,8
Maks	10,3	10,0	9,8	13,2	12,0	11,6	10,6	11,8
Median	5,7	5,5	5,1	9,3	7,8	7,1	6,3	6,5
Gjennomsnitt	5,5	5,9	5,8	7,2	6,6	6,8	6,6	6,8

Gjennomsnittstemperaturen målt fra gjennom 2019 og 2020 viser en gradvis økning i hull 1 og hull 4 på 2-4 grader (Figur 2, Tabell 5). Begge profiler fra hull 1 & 4 i øvre del er blitt påvirket noe etter at nye bygg og stenheller er lagt, selv om maks temperaturen disse årene ikke har økt vesentlig. Heldigvis ligger ikke temperaturen mye over 10 grader. Figur 2 viser tydelig at temperaturen ikke synker like mye og påvirkes mindre av vinterperiode som etter at nybygg er satt opp. Dette kan medføre en høyere gjennomsnittstemperatur. Medianen er derfor noe lavere i begge profiler de to siste årene.

Tabell 5. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2019 og 2020.

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2019	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	5,8	6,6	6,4	8,9	7,5	7,8	6,7	4,7
Maks	12,2	12,1	11,5	14,0	13,0	12,5	11,6	12,1
Median	8,3	8,7	8,4	10,8	9,8	9,5	8,7	8,8
Gjennomsnitt	8,6	8,9	8,7	11,1	10,1	10,0	9,1	8,9

Temperatur	Temp 1. 1	Temp 1. 2	Temp 1. 3	Temp 4.1	Temp 4.2	Temp 4.3	Temp 4.4	Temp 4.5
2020	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4
°C	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	6,3	7,1	6,8	9,7	8,7	8,9	8,0	6,9
Maks	12,1	12,0	11,8	14,2	13,1	12,8	12,0	12,5
Median	9,1	9,5	9,1	12,8	10,9	10,5	9,6	9,4
Gjennomsnitt	9,0	9,4	9,2	12,4	10,9	10,8	9,9	9,7



Figur 2. Jordtemperatur målt i 3 ulike kulturlag fra Hull1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med middel utetemperatur per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2020.

Temperaturmålingene følger middel utetemperatur (Figur 2). Lav temperatur er gunstig for bevaring av organisk materiale både med og uten nærvær av oksygen. Ved slike temperaturer skjer det lite oksidering av organisk materiale både med kjemisk eller mikrobiologisk aktivitet. Studier på nedbryting av organisk materialet fra Schultz gt i Trondheim (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 spesielt i kulturlag med dårligere bevaringsgrad. Uten oksygen til stedet vil tungt nedbruttbart materiale, som for eksempel trevirke, være beskyttet over tid. Nye undersøkelser på prøver fra Munkhaugveita 5-7 viser svært lite destruksjon av karbon under anaerobe forhold ved 10°C (Bergersen, 2016), og videre forsøk i 2017 gjennomført med luft til stede viser samme resultat (kap 3.5 Figur 8).

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

Jordfuktigheten registrert i profilene på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim ligger noe høyere i profil 1 Hull 1 sammenlignet med profil 1 Hull 4 første år av overvåkingen (Tabell 6). Gjennomsnittlig jordfuktighet beregnet i Hull 1 var 60-70 %. I øvre lag ble fuktigheten målt noe lavere omkring 50 % i de første måneder, men steg og fluktuerte mye i siste del av måleperioden av 2017 med økt nedbør som tydelig påvirker mer det øvre kulturlaget mer enn i dypere lag i Hull 1 (Figur 3 over). Derfor er det også observert en økning i gjennomsnittlig jordfuktighet i øvre del av profilen på 9.10 moh. fra 2016 til 2017 (Tabell 6). Jordfuktigheten er redusert i lag 1.1 (9.10 moh.) fra 60 til 53 % i 2018 under bygging av nytt bygg med fortsatt grad av fluktuasjoner (Figur 3 over og Tabell 7). Senere i 2019 og 2020 har sistnevnte lag en økning til gjennomsnitt 71 % (Tabell 8). De øvrige lag i Hull 1 har også en gjennomsnittlig økning de to siste år.

Tabell 6 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Jord fuktighet 2015-2016 %	Fukt. 1 .1 Hull 1 9.10 moh	Fukt. 1 .2 Hull 1 8.75 moh	Fukt. 1 .3 Hull 1 8.63 moh	Fukt. 4.1 Hull 4 10.10 moh	Fukt. 4.2 Hull 4 9.62 moh	Fukt. 4.3 Hull 4 9.10 moh	Fukt. 4.4 Hull 4 8.34 moh	Fukt. 4.5 Hull 4 7.88 moh
Min	46	48	62	32	37	37	39	45
Maks	98	67	73	36	75	39	42	100
Median	59	60	68	34	44	38	40	87
Gjennomsnitt	60	60	68	34	49	38	40	85

I hull 4 har fluktuasjonen avtatt i bunnen av profilen og viser stabil høy jordfuktighet (Figur 3 under og Tabell 7). Tabell 7 & 8 viser at i overvåkingsperioden fra 2018 til 2020, var fuktigheten gjennomsnittlig lik i de ulike kulturlag fra Hull 4. En svak økning fra 84 % til 99 % ble observert i kulturlag 4.5 (7.88 moh.). De øvrige sensorer viser fortsatt mer stabil jordfuktighet omkring 40 til 50% i toppen (10.10) og midten (9.62 ned til 8.34 moh.) av profilen i hele måleperioden fram til 2020 (Figur 3, under).

Figur 3 viser en svak nedgang i jordfuktighet fra den midtre del av profilen fra 2018 og frem til 2020 etter at nytt hus er bygget ferdig. Ingen av kulturlagene i begge hullene viser tegn til redusert jordfuktighet gjennom overvåkingsperioden på 5 år.

Det kan også se ut som om vann (evt. innsig eller mulig grunnvann) samler seg i bunnen av profilene. Ved installasjon ble profilen ved Hull 1 og Hull 4 fylt med vann i bunnen uten at det kom nedbør.

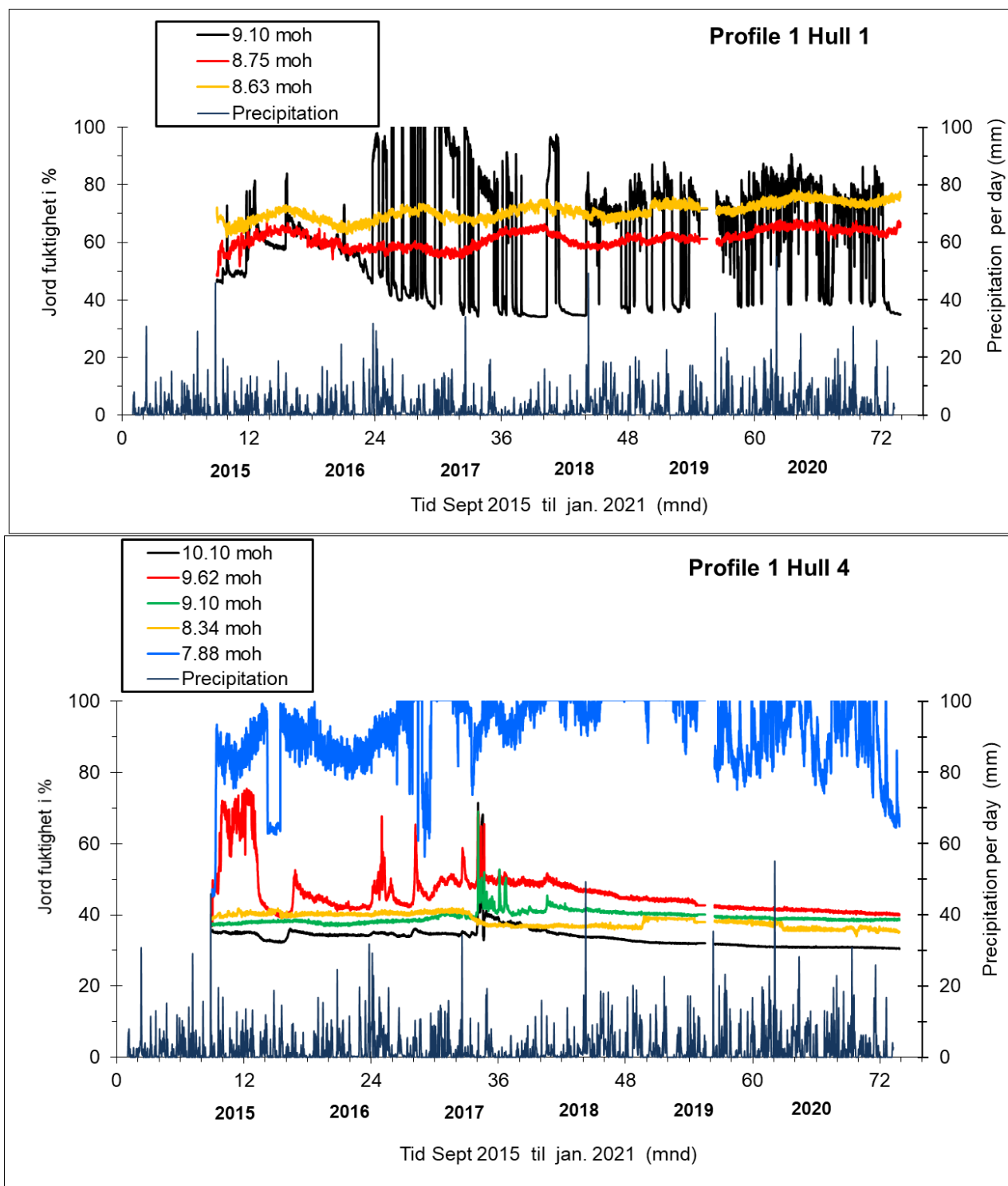
Over tid er det sensoren i bunnen av Hull 4 på 7.88 moh. som påvirkes mest med høy jordfuktighet siden sensoren 4.5 ligger omkring en meter dypere enn i sensor 1.3 Hull 1 (8.63 moh.). I sistnevnte Hull 1 er det påvist et høyere gjennomsnitt i jordfuktighet i de dypere lagene.

Tabell 7. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017 og 2018.

Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2017	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	34	54	65	33	42	38	37	56
Maks	100	65	73	71	69	69	42	100
Median	64	58	69	35	49	39	40	97
Gjennomsnitt	65	59	69	36	49	40	40	94
Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2018	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	34	57	66	33	44	40	36	86
Maks	98	66	75	38	52	45	38	100
Median	38	61	71	34	48	41	37	100
Gjennomsnitt	53	61	71	35	48	41	37	99

Tabell 8. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2019 & 2020.

Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2019	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	36	59	69	31	41	39	36	75
Maks	88	66	76	33	45	41	40	100
Median	72	61	72	32	44	40	38	100
Gjennomsnitt	65	62	72	32	43	40	38	94
Jord fuktighet	Fukt. 1 .1	Fukt. 1 .2	Fukt. 1 .3	Fukt. 4.1	Fukt. 4.2	Fukt. 4.3	Fukt. 4.4	Fukt. 4.5
2020	Hull 1	Hull 1	Hull 1	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 4	Hull 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	35	61	72	31	40	38	34	66
Maks	91	68	78	31	42	40	38	100
Median	75	65	75	31	41	39	36	92
Gjennomsnitt	68	65	75	31	41	39	36	91



Figur 3. Jordfuktighet målt i 3 ulike kulturlagdyp fra Hull 1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2020.

3.4 Redoksførhold målt i kulturlag i profil 1 fra Hull 1 og Hull 4 sammenstilt og vurdert sammen med jordfuktighet

Redokspotensialet indikerer hvor mye oksygen som er til stedet i jordens porevolum ved 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 kulturlagene er fylt med vann. Tette kulturlag med mindre organisk innhold og lavere jordfuktighet kan også hindre at luft trenger ned til kulturlagene. Redoksførholdene i både Hull 1 og Hull 4 profil 1 viser at redoksførholdene har sunket i øvre lag gjennom overvåkingsperioden (Figur 4). Figur 5 & 6 viser også lavere og stabilt redokspotensialet i nedre del av profil 1 i både Hull 4 og Hull 1 hvor jordfuktigheten var høyere i 2016 til 2020.

Beregninger viser at gjennomsnittsverdien målt i begge redokssensorene i Hull 1 viste nedgang fra 2015 til 2018. De to siste årene av overvåkingen har begge målepunktene i profil 1 Hull 1 vist negative verdier; mellom -190 og ned til -250 mV (Tabell 9,10 & 11). Øvre del av profilen som hadde positive verdier de første år fram til 2017 viser nå mer reduserende forhold enn i dypere lag som kan påvirkes noe av grunnvann som siger inn (Figur 4, Tabell 10 & 11). Begge gjennomsnittsverdiene er gunstig for bevaring av organisk materiale i profilen. De samme tabeller viser mindre forskjell i beregnet gjennomsnittsverdi fra Hull 4 i 2015 til 2017. I øvre kulturlag ble det observert videre nedgang i redoksførholdene i begge kulturlag i løpet av 2018 fra både profil 1 Hull 4, men størst reduksjon i øvre del av profil 1 Hull 1 (Figur 4). I øvre del av profil 1 Hull 4 ble det påvist mer oksiderende forhold de første 3 år, men er nå nærmere +200 mV som tilsier mindre på virkning av oksygen.

Måledata viser at øverste kulturlag profil 1 Hull 4 på 10.10 moh. gir noe bedre beskyttelse i 2018 enn fra tidligere år ved at redokspotensialet nå er sunket fra +600 mV til +300 mV i overgangen 2018 til 2019 (Tabell 9 & Figur 4). Gjennomsnittsverdier de siste to årene viser at redokspotensialet her sunket under 300 mV i øvre kulturlag og gode reduserende forhold i de dypeste lag på -121 til -164 mV. Kulturlaget i midten av profil 1 Hull 4 på 9.10 moh. viser redokspotensialet i gjennomsnitt omkring +200 mV. Her vil det være midlere bevaringsforhold ved at redoksverdiene ligger i grenseland hvor man kan påvise og måle nærvær av oksygen eller ikke. Dette er beskrevet senere i kap. 3.4 (Figur 7). I nedre lag er det mer stabile beskyttende anoksiske forhold uten oksygen (Figur 4). Dette samsvarer med bevaringsforholdene i Hull 1 for organisk materiale vist i Tabell 2. Figur 4 viser at redokspotensialet ved 9.10 moh som sank i 2019 og steget til samme nivå som i kulturlag på 10.10 moh. gjennom 2020.

Tabell 9. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksførholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.

Redox- condition	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
2015 & 2016	mV	mV	mV	mV	mV	mV
Min	339	-140	540	-46	-106	-168
Max	639	31	732	302	-49	-118
Median	412	-99	709	259	-95	-135
Average	433	-78	699	253	-93	-138

Tabell 10. Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksf forholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2017 & 2018.

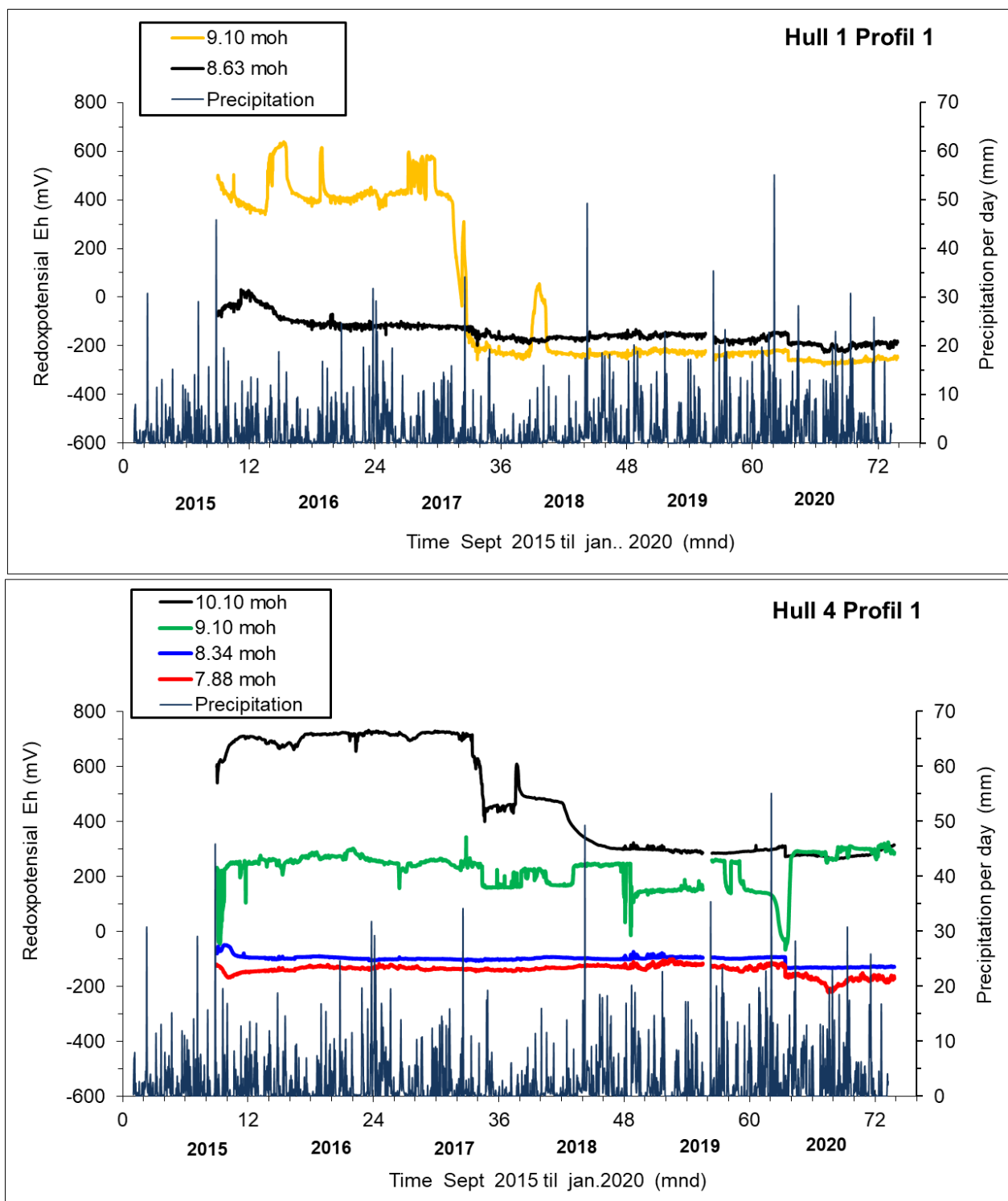
Redox- condition 2017	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-257	-198	399	157	-108	-146
Max	597	-99	729	343	-94	-120
Median	413	-120	714	244	-101	-137
Average	200	-129	655	229	-102	-136

Redox- condition 2018	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-256	-192	298	-13	-104	-145
Max	56	-135	609	248	-85	-117
Median	-231	-166	397	224	-99	-132
Average	-206	-165	401	208	-98	-132

Tabell 11 Min, maks-, median og gjennomsnittsverdier av redoksf forholdene målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden 2019 & 2020.

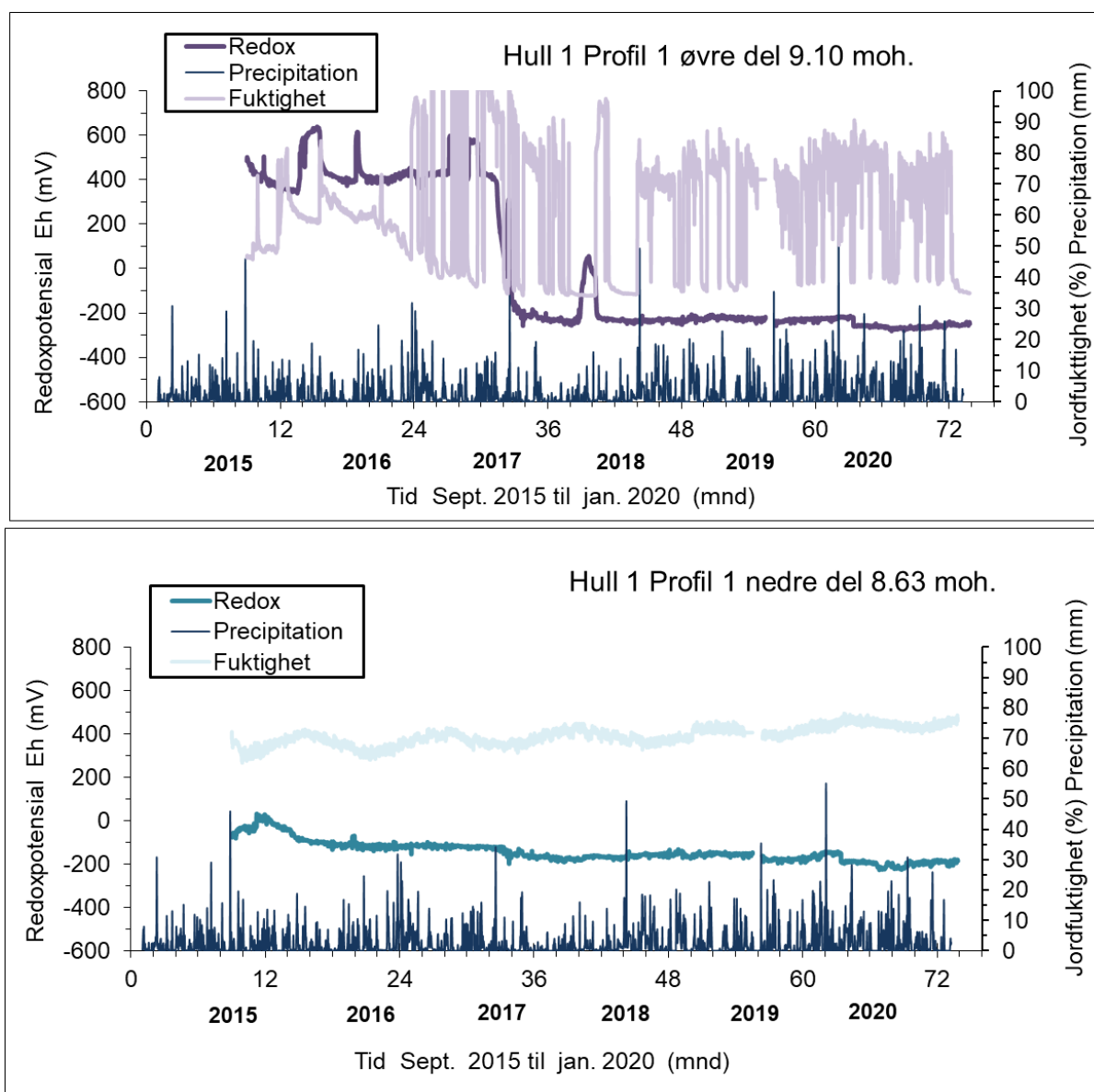
Redox- condition 2019	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-258	-197	282	106	-100	-147
Max	-207	-133	323	262	-74	-100
Median	-226	-161	292	150	-95	-126
Average	-226	-164	293	170	-95	-126

Redox- condition 2020	Redox 1.1 9.10 moh mV	Redox 1.3 8.63 moh mV	Redox 4.1 10.10 moh mV	Redox 4.2 9.10 moh mV	Redox 4.4 8.34 moh mV	Redox 4.5 7.88 moh mV
Min	-281	-227	262	-67	-134	-222
Max	-214	-142	312	320	-93	-114
Median	-259	-191	278	289	-131	-169
Average	-253	-189	282	238	-123	-165



Figur 4. Redoksførhold målt fra profil 1 fra Hull 1 (over) og profil 1 Hull 4 (under), sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2020.

Redoksførhold sammenstilt med jordfuktigheten på samme høydemeter er illustrert i ulike figurer for å vise øvre og nedre deler av profilveggene fra begge Hull (Figur 5 & 6a&6b). Figur 5 viser at i øvre del av profil 1 Hull 1 (9.10 moh.) har økt nedbør hatt påvirkning og gitt høyere jordfuktighet som fluktuerer, og som over tid har redusert redokspotensialet fra +433 i 2016 til negativ verdi ned til omkring -200 mV i 2018 og som har stabilisert seg på et lavt nivå gjennom 2019 & 2020.

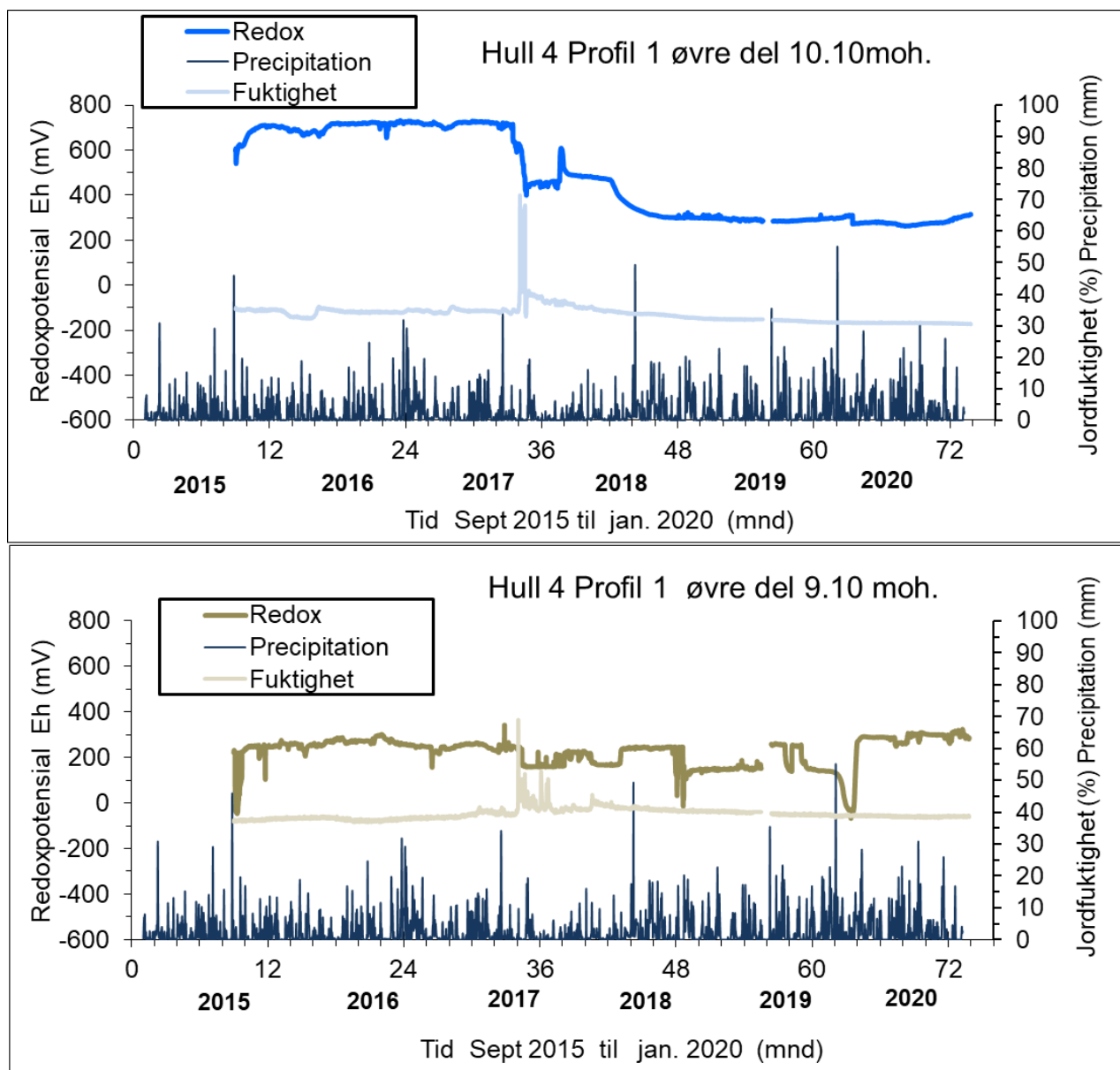


Figur 5. Jordfuktighet og redoksforhold målt i øvre og nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 1 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2020.

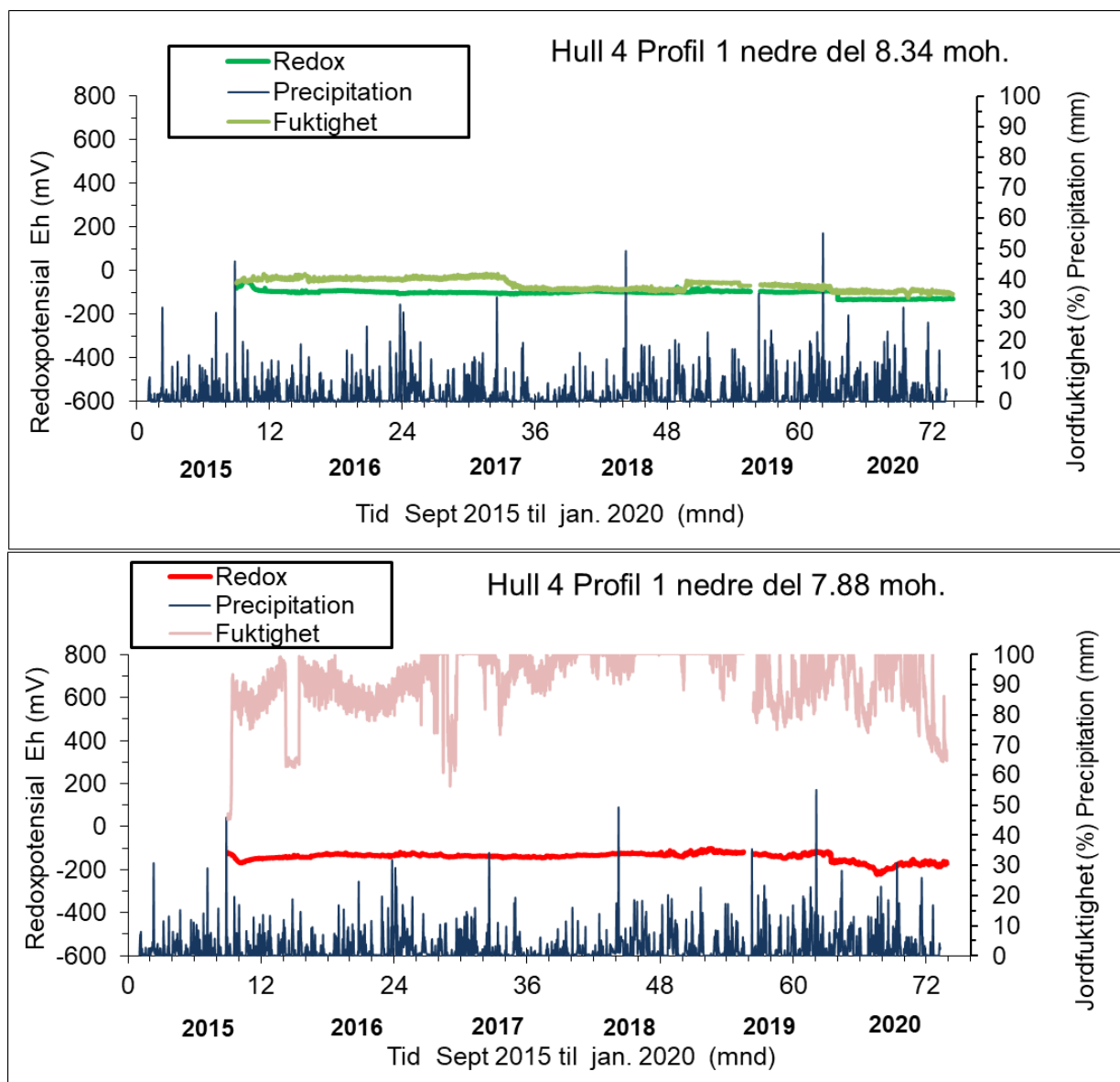
I nedre del av profilen på (8.63 moh.) har det skjedd liten forandring hvor redoksforholdene er negative og jordfuktigheten ligger stabilt på 60-70 %.

Figur 6a fra øvre del av profil 1 Hull 4 viser at lavere jordfuktighet gir noe mer oksiderende redoksforhold med målt redoksverdier opp mot +700 mV (10.10 moh.) og ned til +252 mV (9.10 moh). Både jordfuktighet og redokspotensialet varierer lite med nedbør. Gledelig er at redokspotensialet har sunket til ca +300 mV mot slutten av 2018 og videre inn i 2019 og 2020 etter at nytt bygg er satt opp. I løpet av 2020 har redokspotensialet ved 9.10moh. steget til samme nivå som 10.10moh, men nærmere +200 enn +300mV. Ellers er det små forandringer fra de ulike lag.

Øvre del i profil 1 Hull 4 har fortsatt mindre oksiderende forhold sammenlignet med de tidligere år 2015-2018. Nedre del under 9 moh. viser nå lavere negative redoksverdier (Figur 6b & Tabell 11).



Figur 6a Jordfuktighet og redoksforhold målt i øvre kulturlag fra profil 1 fra Hull 4 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2020

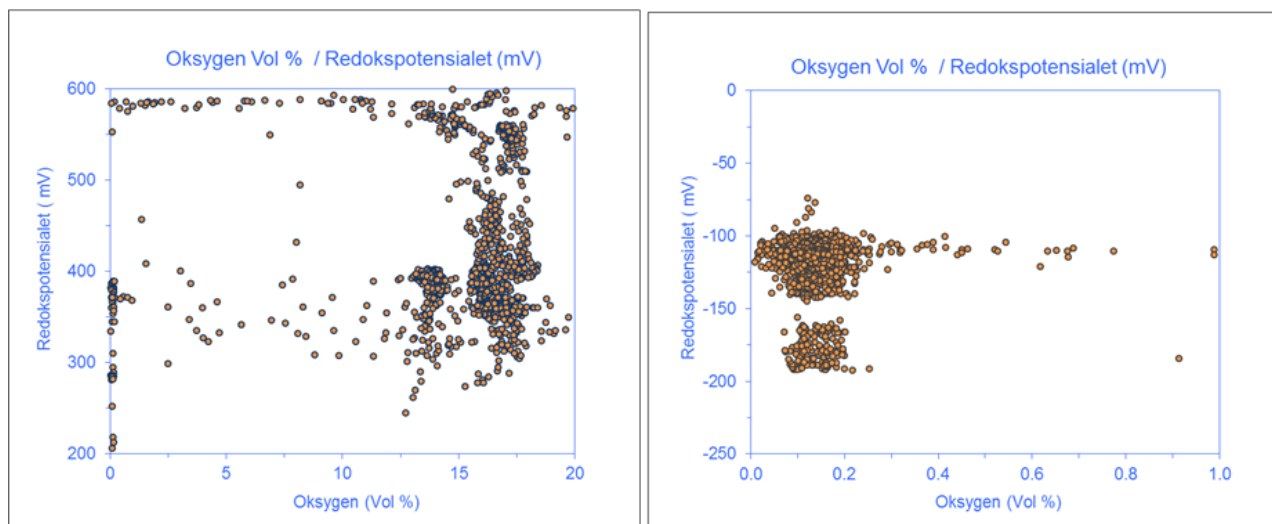


Figur 6b Jordfuktighet og redoksførhold målt i nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 4 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no) i perioden 2015 til 2020

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 forskjellene. 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 (data ikke vist).

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 7). 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 hvor måleusikkerheten øker siden man er i ytterkant av måleområdet for optisk oksygen sensorer.

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 kulturlagenes 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 7).



Figur 7. 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 % og er i nedre skal hvor måleusikkerheten blir større.

Derfor er det kun øvre lag av kulturlagene på 10, 10 og 9.10 moh. i Munkhaugveita 5-7 som ligger nærmere denne grense (Tabell 11). De siste gjennomsnittverdiene i 2020 viser +280 mV til +230 mV.

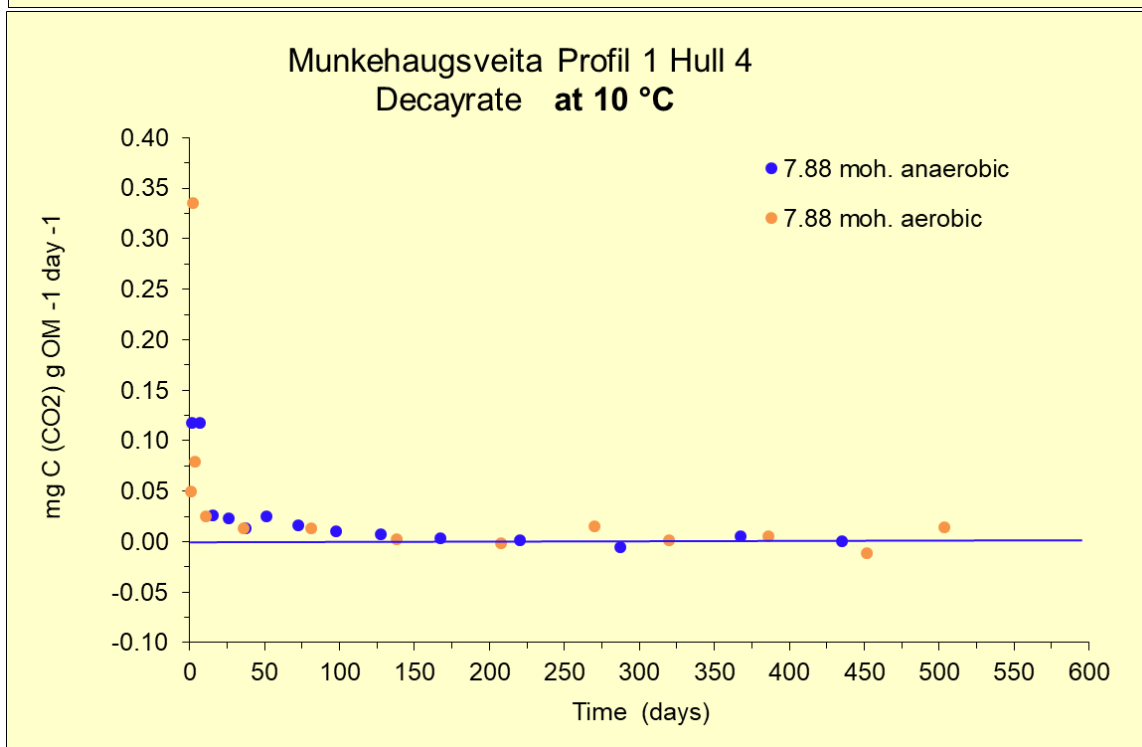
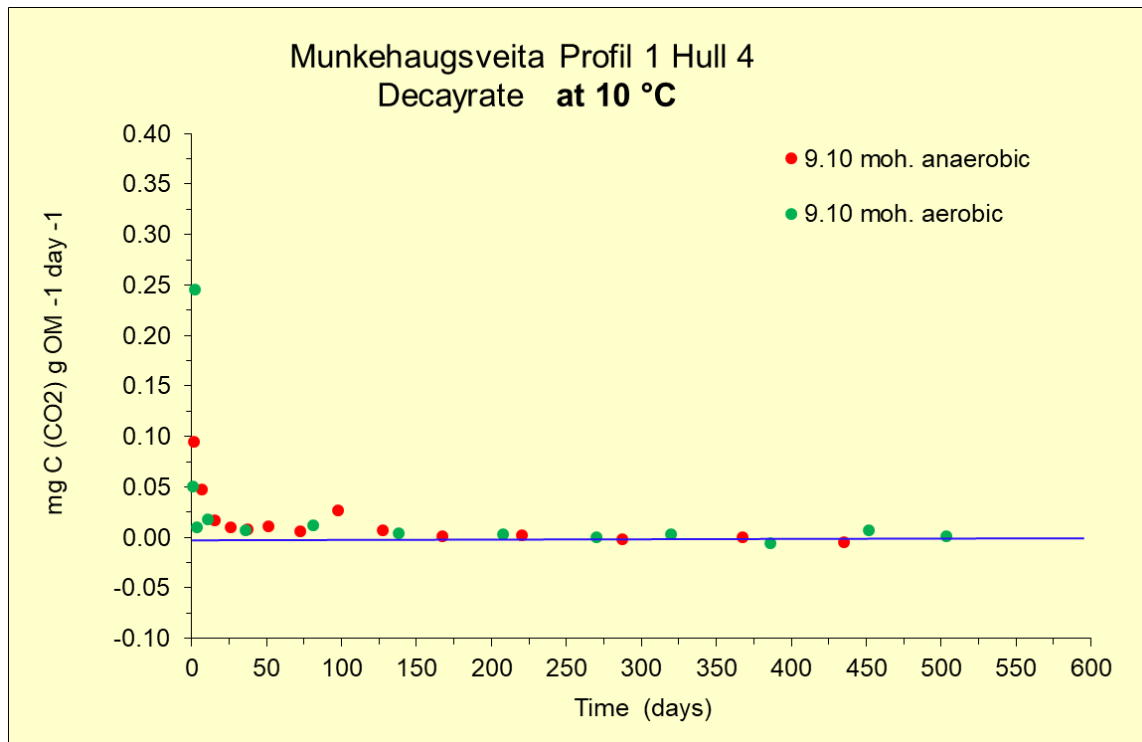
3.5 Nedbrytningsstudier av kulturlagsprøver fra Munkhaugveita 5-7 Profil 1 Hull 4

Tidligere nedbrytningsstudier utført på kulturminneprøver med ulik bevaringsgrad A1 og A5 fra Schultz gate 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 høyere temperatur, mangel av oksygen og ulik bevaringsgrad påvirker hvor raskt organisk materiale kan brytes ned over tid (Petersén & Bergersen 2016).

Sistnevnte studier er blitt utført av jordprøver fra kulturlag i Munkhaugveita 5-7 Profil 1 Hull 4 fra 9.10 moh. og ned til 7.88 moh. Begge disse prøvene ble valgt siden innhold av organisk materiale var 20 %, 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 alle prøvene viser lave konsentrasjoner av CO₂ i starten og som ble redusert til nærmere null over tid (Figur 8). Data er illustrert med standard avvik og vist i vedlegg 5. Jordprøvene målt over tid, viste begge meget lave nedbrytingsrater.

Etter 450-500 dager kan en ikke se noen forskjell i økt nedbryting (målt som CO₂) 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 med minimal nedbryting. Dette gjelder spesielt kulturlag med godt bevart organisk materiale og 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). Dette viser også at kulturlag som ligger stabilt og ikke har blitt påvirket av større svingninger i temperatur, evt. røtter fra store trær, luft og vekslende nedbør er mere beskyttet. Også nytt bygg over kulturlagene kan virke beskyttende siden stabiliteten øker. Senkning i redokspotensialet i øvre del av profil 1 Hull 4 kan tyde på det.

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 langsamt med oksygen til stede. Studier på nedbryting av organisk materialet 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 vil tungt nedbrytbart materiale, som for eksempel trevirke, være beskyttet over tid.



Figur 8. 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 ved 10 °C med og uten oksygen tilstede. Begge prøver var godt bevarte A4.

4 Konklusjon

- Miljøovervåking av arkeologisk kulturlag på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim (Profil 1 Hull 4) i perioden september 2015 til desember 2020 viser reduserende og gode bevaringsforhold fra under 9.10 moh. Oksiderende forhold som ble påvist i øvre kulturlag på 10.1 moh. i perioden 2015 og 2017 er halvert fra +600 mV til +280 mV i slutten av 2020 som gir lavt innhold av oksygen i jordporene til kulturlaget.
- Profilen i Hull 1 viser høyere jordfuktighet sammenstilt med Hull 4 og redoksforholdene i øvre del av profilen er i ferd med å bli anoksiske og reduserende i 2017. Igjenom 2018 og ut måleperioden til 2020 sank redoksforholdene ytterligere, og viser nå negativt redokspotensialet i hele profilen fra 9.10 til 8.63 moh. Dette gir gode bevaringsforhold for organisk materiale.
- Beregnet gjennomsnittstemperatur i begge profiler var omkring 5-7 °C før nytt bygg var ferdigstilt, noe som er gunstig for bevaring av organisk materiale. Når det i tillegg er anoksiske og reduserende forhold i kulturlagene, vil muligheten for bevaringen øke ytterligere. Gjennomsnittstemperaturen har økt de 2 siste årene av overvåkingen etter at nye bygg er ferdigstilt på tomten. Mest utsatt er kulturlag øvre del av Hull 4 på 10.10 moh hvor gjennomsnittstemperaturen nå er målt til 11-12°C.
- *NIBIO mener at resultatet fra overvåkingen før og etter nye bygg er ferdigstilt på tomta i Munkhaugveita 5-7 har gitt et godt grunnlag for å vurdere eventuelle endringer i bevaringsforhold.* I Profil 1 Hull 1 har det vært reduserende forhold, høy jordfuktighet og fortsatt lav temperatur selv om den har steget de to siste årene fra 6-9°C. Profil 1 Hull 1 har fortsatt gode bevaringsforhold for organisk materiale etter at nytt hus er ferdigstilt. I Profil 1 Hull 4 ser vi samme forhold i nedre del av profilen. I øvre del av profilen ser en at et nytt bygg har gitt høyere temperaturøkning. Fuktigheten har ikke forandret seg under overvåkingsperioden.
- *Nye bygg over områder med verneverdige kulturlag i Munkhaugveita 5-7 har ikke påvirket de kulturlag som er overvåket direkte negativt.* Vi ser av dataene at alle temperaturkurver ligger noe høyere i forhold til de første år med overvåking før byggestart, men med mindre svingninger sommer og vinter. Kun øvre del av profil 1 Hull 4 kan bli påvirket hvis temperaturen øker eller holder seg over 12 °C.

5 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.
- Bergersen O. (2016).** Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport I per september 2016. NIBIO rapport Vol 2 (17). ISBN 978-82-17-01577-2
- Bergersen O. (2018).** Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport II per oktober 2017. NIBIO rapport Vol 4 (18/00079)
- Bergersen O. (2019).** Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport III per mars 2019. NIBIO rapport Vol 5 (19/00079)
- Brock, T.D.** *Biology of microorganisms*. 11ed. Prentice Hall International editions, London, UK, 992 pp. 2006
- 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.
- 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>.
- 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.
- 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/

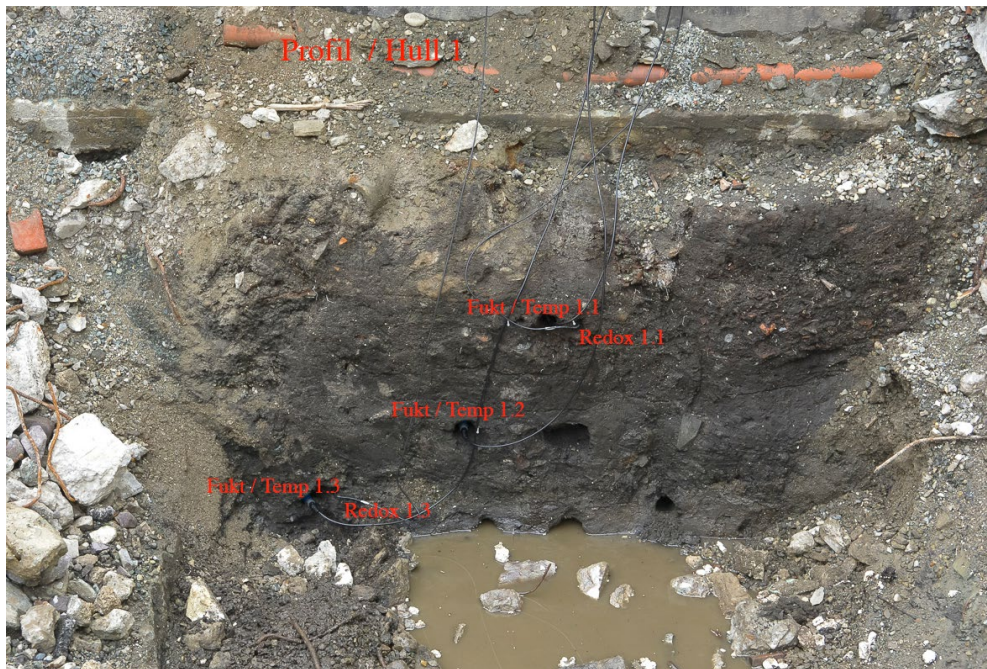
Vedlegg

Nr Tema

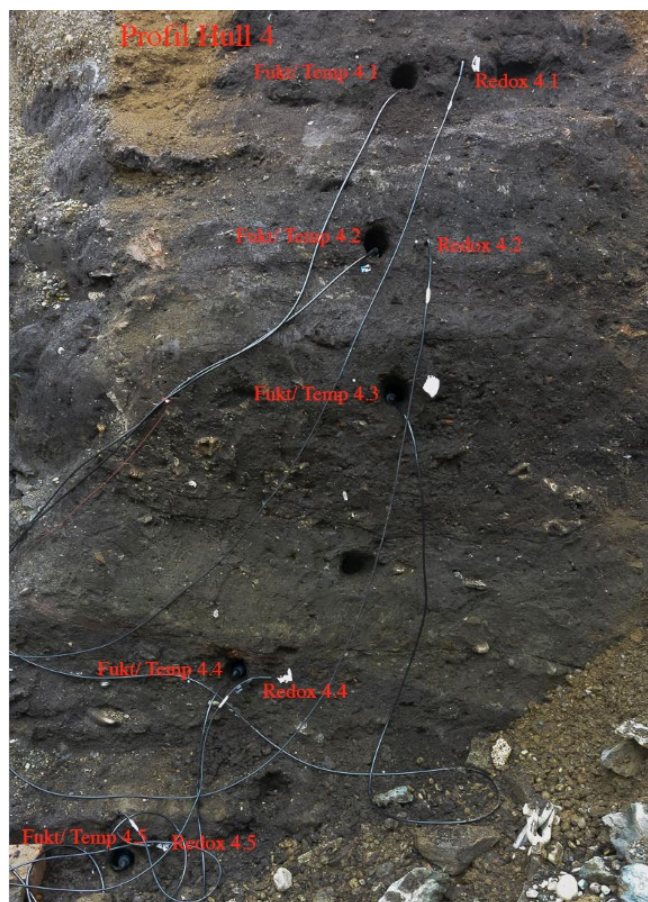
- 1 Illustrering av profiler med plassering av sensorer
- 2 Foto fra start og under overvåking
- 3 Koordinater fra Hull 1 og Hull 4
- 4 Bevaringsskala (SOPS) av kulturlag og redoksforhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer
- 5 Nedbrytningsstudier av organisk materiale i godt bevarte prøver fra Munkhaugveita 5-7 profil
1 Hull 4 fra ulike dyp i nesten 2 år ved 10 grader med og uten luft

Vedlegg 1

Foto av Hull 1 og 4 og etter nytt bygg ferdigstilt på tomten i 2018



Hull 1 Profil 1 Munkhaugveita 5-7 med sensor plassert i profilvegg.



Hull 4 profil 1: Munkhaugveita 5-7 med sensorer

Vedlegg 2

Foto ved start og etter nytt bygg ble ferdigstilt på tomten i 2018



Munkhaugveita 5-7 2018 fotografert av Lasse Weiseth, NIBIO Kvithamar

Vedlegg 3

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 4

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

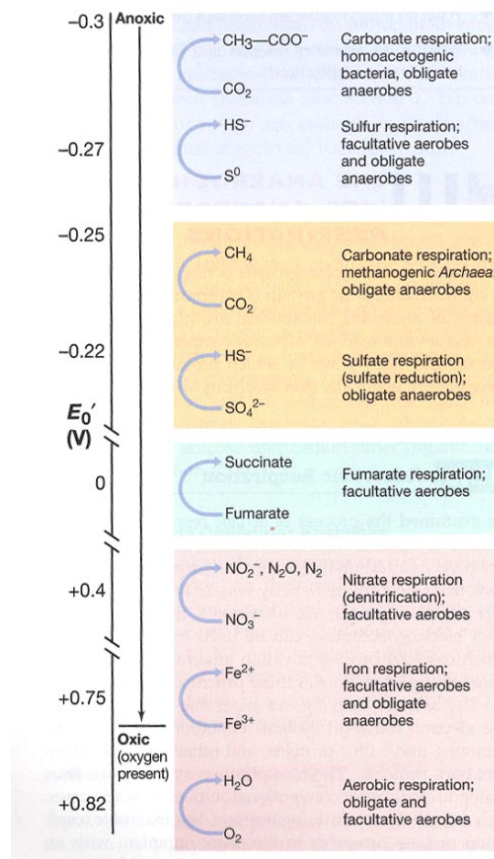
State of the preservation scale (SOPS) after Norsk Standard (NS 9451:2012), under concentration levels for S2 parameters used to evaluate preservation conditions

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

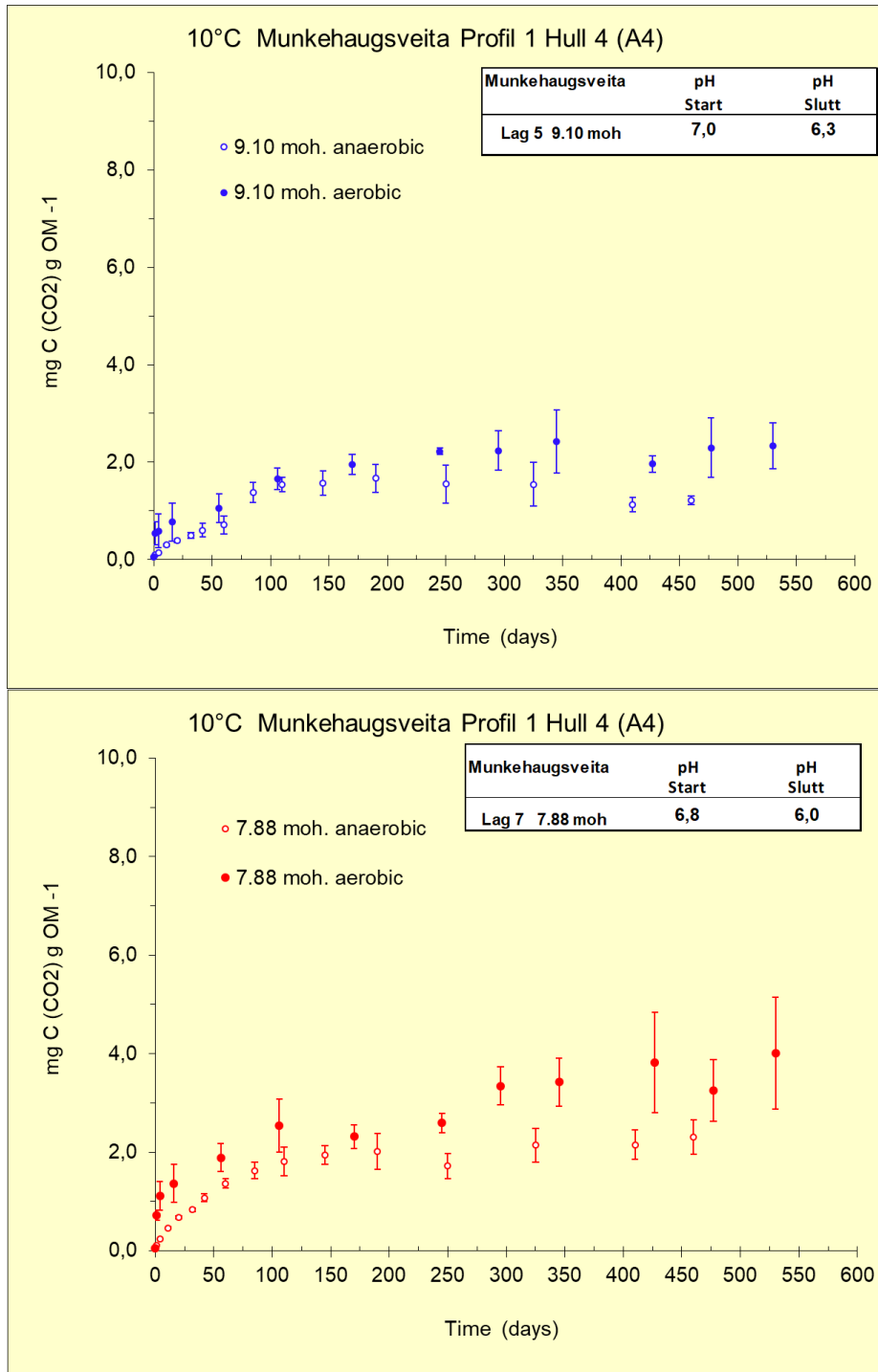


Redoksforhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer (Brock, 1996).

Vedlegg 5

Nedbrytningsstudier av organisk materiale

Figuren viser resultater fra nedbrytningsstudier av organisk materiale i godt bevarte prøver fra Munkhaugsveita 5-7 profil 1 Hull 4 fra ulike dyp i 450-500 dager ved 10 grader med og uten luft. Senkning i pH kan tyde på dannelser av organiske syrer i prøver med luft tilstede. Målt CO₂ er noe høyere aerobt enn anaerobt, men har ikke økt særlig 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.