



STATUSRAPPORT MABYMOV MILJØPROFIL B2 OG MILJØBRØNN B1, B3 OG TO1 PR. 31. MARS 2020

Middelalderbyene Bergen og Tønsberg

Vibeke Vandrup Martens (NIKU) Line Hovd (NIKU) A. Rory Dunlop (NIKU)
Stein Broch Olsen (COWI AS) Liv Bruås Henninge (COWI AS)
Mike Voellmecke (Cautus Geo AS)





Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU)
 Storgata 2, Postboks 736 Sentrum, 0105 Oslo
 Telefon: 23 35 50 00
www.niku.no

Tittel Statusrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1 pr. 31. mars 2020 Middelalderbyene Bergen og Tønsberg	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 99	Publiseringsdato 31.03.2020
	Prosjektnummer 1021141	Sider 68
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Vibeke Vandrup Martens (NIKU) Line Hovd (NIKU) A. Rory Dunlop (NIKU) Stein Broch Olsen (COWI AS) Liv Bruås Henninge (COWI AS) Mike Voellmecke (Cautus Geo AS)	ISSN 1503-4895 ISBN 978-82-8101-244-8	Periode gjennomført Juli 2018-mars 2020
	Forsidebilde Feltarbeid på TO1, Møllegaten 4, Tønsberg, 6. januar 2020. VVM NIKU.	

Prosjektleder Vibeke Vandrup Martens
Prosjektmedarbeider(e) Vibeke Vandrup Martens, Alexander Rory Dunlop, Line Hovd (NIKU); Liv Bruås Henninge (COWI AS); Lars Krangnes, Mike Voellmecke (Cautus Geo AS)
Kvalitetssikrer Chris McLees (NIKU); Stein Broch Olsen (COWI AS)

Finansiert av KLD via Riksantikvaren

Sammendrag Det er i forbindelse med et langsiktig overvåkingsprosjekt gjennomført undersøkelser og installert miljøovervåkingsutstyr tre steder i Vågsbunnen i Bergen (B1, B2, B3) samt boret for miljøbrønn/uttak av jordprøver for vurdering av bevaringstilstand og bevaringsforhold i Tønsberg sentrum (TO1)

Abstract As a part of a long term urban environmental monitoring project, archaeological investigations were carried out at three sites in Vågsbunnen in Bergen, and monitoring equipment was installed (B1, B2, B3). Additionally, at one site in Tønsberg, augering was carried out to extract soil samples for evaluation of state of preservation and preservation conditions (TO1)
--

Emneord Miljøovervåking; miljøbrønn; profil; kulturlag; geokjemi; mikrobiologi, arkeologi, Bergen, Tønsberg
Keywords Environmental monitoring; dipwell; section; archaeological deposits; geochemistry; microbiology; archaeology; Bergen, Tønsberg

Avdelingsleder
 Lise Marie Bye Johansen, NIKU. Stein Broch Olsen, COWI AS

Definisjoner

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

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.

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 politikktutforming, 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 relativ korte tidsspenn, som regel i 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 oss 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 vi ved varsling om endrede forhold som følge av nedbør /økte vannmengder, som vurderes som negative for kulturlagene, kan iverksette nødvendige avbøtende tiltak.

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	11
1.1	Rapportens struktur og innhold.....	12
1.2	Analyseparametere kulturlag	12
1.3	Beskrivelse av bevaringsforhold	13
2	Bergen, Vågsbunnen. Beskrivelse av målepunkter B1, B2 og B3	15
2.1	Miljøbrønn B1.....	16
2.2	Miljøprofil B2.....	17
2.3	Miljøbrønn B3.....	22
3	Arkeologiske, historiske og topografiske opplysninger - Bergen	25
4	Miljøundersøkelsene: metoder og gjennomføring.....	26
5	Resultater fra det arkeologiske feltarbeidet.....	27
5.1	Generelle forklaringer	27
5.2	Profilveggen i Kong Oscars gate: observasjoner	27
5.2.1	Miljøprofil B2 (NIKU betegnelse 1021141 B-2)	27
5.3	Naverboringen i Nedre Hamburgersmauet: observasjoner.....	29
5.3.1	Borepunkt B3 (NIKU betegnelse 1021141 B3)	29
6	Dateringer og funn	32
6.1	Karbondateringer	32
6.1.1	Miljøbrønn 1021423-1 (B3)	32
6.2	Datering og konklusjoner	32
6.3	Funn.....	32
7	Arkeologisk vurdering av bevaringstilstand.....	33
8	Resultater av jordkjemiske analyser - Bergen	34
8.1	Resultater fra B1.....	34
8.2	Resultater fra B2.....	35
8.3	Resultater fra B3.....	36
9	Oppdaterte sensordata - Bergen	38
9.1.1	B1.....	38
9.1.2	B2.....	40
9.1.3	B3.....	42
10	Vurdering av overvåkingsdata - Bergen.....	44
10.1	Miljøbrønn B1.....	44
10.2	Miljøprofil B2.....	44
10.3	Miljøbrønn B3.....	45
11	Grunnboring for miljøovervåkingspunkt TO1 i Tønsberg.....	47
11.1	Arkeologiske, historiske og topografiske opplysninger -Tønsberg.....	47
11.2	Naverboring i Møllegaten: observasjoner	48
11.2.1	Grunnboring TO1 (NIKU betegnelse 1021141 TO1).....	48
12	Dokumentasjon Tønsberg	49
12.1	Resultater fra det arkeologiske feltarbeidet.....	51
12.2	Naverboringen: observasjoner	51
12.2.1	Borepunkt TO1 (NIKU betegnelse 1021141 TO1)	51
12.3	Arkeologisk vurdering av bevaringstilstand for borepunkt TO1	51
13	Resultater av jordkjemiske analyser - Tønsberg	52
13.1	Resultater fra TO1	52

14	Miljøovervåkingsundersøkelsene i Bergen og Tønsberg: konklusjoner	54
14.1	Bergen	54
14.2	Tønsberg.....	55
15	Referanser	55
16	Dokumentasjon (NIKU).....	56
16.1	Fotoliste B2.....	56
16.2	Fotoliste B3.....	58
16.3	Fotoliste TO1	60
17	Vedlegg.....	63
17.1	NIKU faktaark kulturlagssikring	64
17.2	Figur 6 stort format. Profil i Kong Oscars gate, Bergen.....	66

Figurliste

Figur 1.	Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser. Denne figuren viser at stabile negative redoksforhold (anaerobe forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag.	13
Figur 2.	B1-miljøbrønn, B2-miljøprofil og B3-miljøbrønn	15
Figur 3.	Situasjonskart over målepunktene i Bergen. B1, B2 og B3 er vist i oval ring.	16
Figur 4.	Plasseringen til brønn B1.	17
Figur 5.	Prøvetaking og installasjon av sensorene i B2 profil, montering fast skap på veggen, strømkilde og ferdigstilt installasjon.	19
Figur 6.	Fotografi og skjematisk tegning av sensorplasseringer i B2 miljøprofil (se vedlegg for større format).....	20
Figur 7.	Havarert O ₂ sensor 4098.....	21
Figur 8.	Plassering av miljøbrønn B3. (Kart: NIKU).....	23
Figur 9.	Bilder fra boring, prøvetaking og installasjonen av miljøbrønn B3.	24
Figur 10.	Analyser av prøver fra VMB01 Skostredet (Bergersen 2014).	34
Figur 11.	(a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) redoks og O ₂ data fra miljøbrønn B1. Dataen er samlet i tidsperioden oktober 2019 til 10. mars 2020.	39
Figur 12.	(a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) Redoks og O ₂ data fra miljøprofil B2. Dataen er samlet i tidsperioden 5. juli 2018 til 10. mars 2020.....	41
Figur 13.	(a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) Redoks og O ₂ data fra miljøbrønn B3. Dataen er samlet i tidsperioden september 2018 til 10. mars 2020.....	43
Figur 14.	Plassering av borepunkt TO1. (Kart: NIKU).....	48
Figur 15.	Bilder fra feltarbeidet før oppstart av boringen av miljøbrønn TO1. Tv.: Forhåndsinstallert kum. Th.: Boreriggen klargjøres.....	49
Figur 16.	Bilder fra felt ved boring av miljøbrønn TO1. Tv.: Rensing av bor. Th.: Siste borelengde ved påtruffet grunnfjell.....	50
Figur 17.	Tegning av borepunkt TO1	62
Vedlegg 2.	Figur 6 stort format; profil i Kong Oscars gate, Bergen	63

Liste over tabeller

Tabell 1. Oversikt over analyseparametere i gruppene S1 og S2.....	12
Tabell 2. Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jordtypen under forskjellige redoks-forhold og bevaringsforhold i kulturlag.....	15
Tabell 3. Aktivitetene ifm. installasjonene i B1, B2 og B3.....	16
Tabell 4. Oversikt over elektrode plasseringer og høyder for miljøprofil B2.	21
Tabell 5. Kulturlag i miljøprofil B2 (NB tabellen fortsetter på neste side)	27
Tabell 6. Kulturlag i borepunkt B3 (NB tabellen fortsetter på de to neste sidene).....	29
Tabell 7. Skjematisk sammenligningspresentasjon av bevaringstilstanden (visuell vurdering) til kulturlagene i boringen.	33
Tabell 8. Analyseresultater for jordprøvene tatt fra B2 miljøprofil.	35
Tabell 9. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra B2.	36
Tabell 10. Analyseresultater for jordprøver tatt fra B3 miljøbrønn.....	37
Tabell 11. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra B3.	37
Tabell 12. Borepunkt TO1. Lagbeskrivelser og tolkning.....	51
Tabell 13. Borepunkt TO1. Tilstandsvurdering av kulturlagene.....	52
Tabell 14. Analyseresultater for jordprøvene tatt fra TO1 miljøprofil.....	53
Tabell 15. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra TO1 basert på NS 9451:2009.....	53

1 Bakgrunn

Det er i 2018 satt i gang et langvarig prosjekt for miljøovervåking av hvilke parameter som påvirker fortsatt bevaring av våre kulturlag, og hvilke konsekvenser dette har i et kort- og langtidsperspektiv. Målet for en kunnskapsbasert forvaltning av kulturlagene i middelalderby er å legge til rette for livskraftige bysentra, samtidig som ikke-fornybare kulturminneverdier kan tas vare på i et langtidsperspektiv. Prosjektene avgrenses av grensen for de automatisk fredete områdene i middelalderbyen. Målet er at prosjektet minimum skal gå over fem år, men det er et uttalt ønske i forvaltningen å oppnå lengre tidsserier, med forbehold om bevilgninger. Her ønskes en gjennomgang av bevaringstilstanden til og bevaringsforholdene for kulturlag i tre av de større middelalderbyer: Bergen (Vågsbunnen-bydelen), Trondheim og Tønsberg. Det gjelder både en aktuell tilstand og utviklingen av bevaringsforhold over tid, i mettet og umettet sone. Formålet vil være å øke datagrunnlaget for vurdering av framtidige tiltak i de utvalgte middelalderbyene. Oppdraget er å overvåke bevaringsforholdene for kulturlag fra middelalder gjennom fortløpende logging av utvalgte parametere. Bevaringstilstanden for kulturlag skal dokumenteres av arkeolog samtidig som utstyr monteres, og det skal tas ut prøver til jordkjemisk og/eller vannkjemisk analyse. Det skal installeres miljøovervåkingsutstyr dels i eksisterende og nye miljøbrønner, dels i kulturlag i profil på nærmere bestemte steder i de utvalgte byene. Det dreier seg om eksisterende miljøbrønner som skal etableres med utstyr og nye som må bores, installeres og etableres med overvåkingsutstyr samt nye profiler som må frilegges, undersøkes arkeologisk, dokumenteres, tas prøver ifra og etableres med overvåkingsutstyr. I tillegg må det etableres en enkel piezometerbrønn for grunnvannsovervåking.

Miljøovervåkingsprogrammet skal gjennomføres i tråd med Norsk Standard *NS9451:2009*, «*Kulturminner. Krav til miljøovervåking og -undersøkelse av kulturlag*».

Oppdraget skal primært fokusere på:

- Endring i bevaringsforholdene
- Årsak til endringer
- Behovet for avbøtende tiltak i det aktuelle området

Overvåkingen vil bestå av delprosjekter fordelt på tre av byene:

- Vågsbunnen i Bergen middelalderby
- Trondheim middelalderby
- Tønsberg middelalderby

COWI AS og Cautus Geo AS har fått i oppdrag fra Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU) å gjennomføre overvåking av kulturlag i de tre av de store middelalderbyene i Norge (Bergen, Trondheim og Tønsberg). Overvåkingen innebærer prøvetaking av jord og grunnvann fra miljøbrønner og miljøprofiler. Det er satt inn en del sensorer for overvåking av fysiske og kjemiske parametere over tid i tillegg til prøvetaking og analyser av vann og jord. Denne rapporten beskriver status for miljøprofil B2 og miljøbrønnene B1 og B3 samt grunnboring TO1 i det ovenfor beskrevne programmet. Data fra analyser av jordprøver er presentert sammen med overvåkingsdata fra oppstart frem til 10. mars 2020.

1.1 Rapportens struktur og innhold

Denne rapporten redegjør for utført arkeologisk undersøkelse og tilstandsvurdering av kulturlag gjennomført av NIKU, installering av MOV utstyr ved Cautus Geo AS, analyser av jordkjemiske prøver utført av Eurofins AS og vurdering av kulturlagenes bevaringsforhold gjennomført av COWIs spesialister. I tillegg har Cautus levert grafer og overvåkingsdata tolket av COWI og Cautus fra overvåkingspunktene fra oppstart og frem til 10. mars 2020.

I kapittel 2, 3, 4, 5 og 6 beskrives målepunktene i Vågsbunnen i Bergen, B1, B2 og B3 – arkeologisk, historisk og topografisk bakgrunn, metoder benyttet i undersøkelsene, resultater fra det arkeologiske feltarbeidet og datering.

I kapittel 7-10 vurderes bevaringstilstand og bevaringsforhold for de samme målepunktene, og sensordata fra langtidsovervåkingen presenteres og tolkes.

I kapittel 11, 12 og 13 beskrives overvåkingspunktet i Tønsberg, TO1 – arkeologisk, historisk og topografisk bakgrunn, metoder benyttet i undersøkelsen, resultater fra det arkeologiske feltarbeidet, bevaringstilstand og bevaringsforhold.

I kapittel 14 presenteres konklusjoner så langt. Deretter følger dokumentasjon og vedlegg.

1.2 Analyseparametere kulturlag

Analyseparametere for miljøovervåking av kulturlag beskrives i NS9451:2009. Parametere er delt inn i grunnleggende parametere (S1) og miljøparametere (S2). Parametere i S1 og S2 beskrives i Tabell 1.

Tabell 1. Oversikt over analyseparametere i gruppene S1 og S2.

S1	S2
Tørrstoffinnhold	Matrikspotensiale (pF)
Glødetap	Porøsitet
pH	Sulfat
Ledningsevne / klorid	Sulfid
	Jern (II)
	Jern (III)
	Ammonium (ekstraherbart)
	Nitrat

Innsamlet data brukes til å vurdere bevaringsforhold av kulturlagene. Dette baseres hovedsakelig på inntrenging av oksygen som påvirker redoksforholdet i jorden (som % O₂ eller som RedOks). I tillegg overvåkes / analyseres fuktighet og en del andre kjemiske parametere (pH og ledningsevne) for å se hvordan grunnvann kan påvirke kulturlagenes bevaringsforhold.

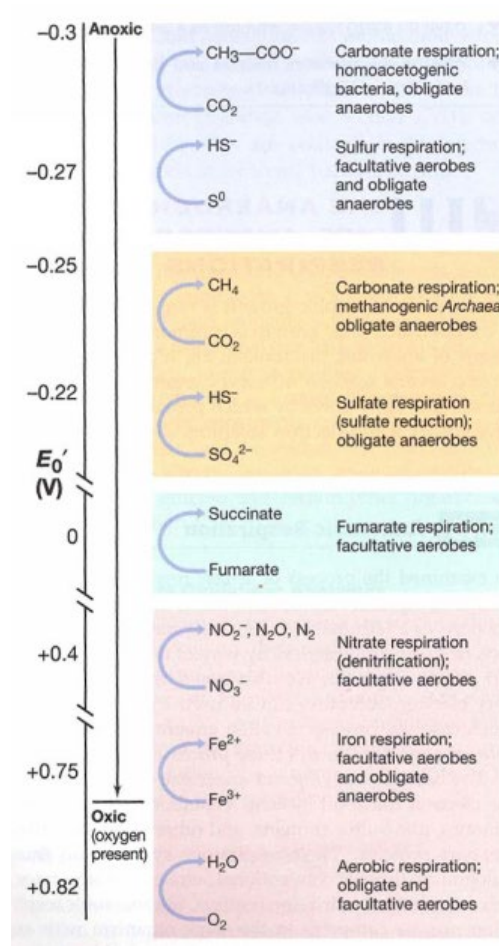
1.3 Beskrivelse av bevaringsforhold

S1 og S2 brukes for å beskrive bevaringsforholdene (Norsk Standard 9451:2009).

Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemiske og fysiske forhold. Dette 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 og mindre mikrobiell aktivitet.

I naturen foregår nedbrytning av organisk materiale og korrosjon av metaller parallelt med andre prosesser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner.

Avhengig av redoksforhold i jordtypen vil forskjellige typer mikrobielle reaksjoner dominere. Dette vises i Figur 1.



Figur 1. Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser. Denne figuren viser at stabile negative redoksforhold (anaerobe forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag.

Det er viktig å forstå at selv om målinger av RedOks i jordtypen kan indikere at jernreduksjon dominerer, vil andre prosesser som f.eks. sulfatreduksjon og dannelse av metallsulfider også forekomme. På lavere RedOks forhold vil karbon-nedbrytning foregå langsommere, og så lenge det

ikke forekommer inntrenging av fritt oksygen, vil også korrosjon av metallgjenstander foregå langsommere.

En typisk teskje jord kan inneholde omkring 109 bakterietyper. Bakterietypene varierer mye mellom hvor jorden kommer fra, dybden av prøven osv. Aktivitet, og kjemisk/fysisk fingeravtrykk av jordtypen vil bestemme hvilke typer bakterier som blir dominerende i jorden og dermed hvilke prosesser som dominerer. Noen bakterier kan redusere både nitrat og sulfat og prosessen som dominerer bestemmes av hvor mye næringsstoff som er til stede (f.eks. sulfat / nitrat). Grunnvanskilden og grunnvannskjemi er derfor meget viktig i påvirkning av prosessene som foregår i kulturlagene.

I naturen kan vi derfor observere at aerobe forhold der oksygen er til stede, går over til nitratreduserende forhold når alt oksygen er brukt opp så lenge det er nitrat tilgjengelig. Deretter følger mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før en får metanogene forhold – så lenge de nødvendige næringsstoffene er til stede.

Under metanogene forhold observerer man langsom nedbrytning av organisk materiale, og mindre korrosjon av metallgjenstander. Korrosjon under slike forhold forårsakes av sulfid-dannelse og reduksjon av jern og mangan til de respektive metallsulfider.

Nedbrytning av organiske gjenstander blir lavere dersom redokspotensiale blir mer negativt. Hastigheten av den organiske nedbrytningen 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 kjennetegner bra til utmerket bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning. Redoksforhold mellom de forskjellige mikrobielle prosesser vises i Figur 1 (Madigan et al i Brock, 2015).

Tabell 2 viser en enkel oversikt over hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. Dette er gjort som en vurdering av parametere beskrevet i NS 9451:2009. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det røde markerte området vises nivåer av målte kjemiske parametere for typisk oksiderende forhold, mens reduserende forhold er vist med grønt.

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 oksiderende og at mikroorganismene bruker oksygen til å bryte ned organisk materiale. Tabellen illustrerer også omtrentlige redoksverdier benyttet i overvåking av grunnvannet som beveger seg igjennom kulturlagene.

Tabell 2. Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jordtypen under forskjellige redoks-forhold og bevaringsforhold i kulturlag.

Relativ konsentrasjon					Dominerende prosess	Redoks (mv)	Bevaringsforhold
NO ₃	NH ₄	S ²⁻	Fe (II)	Fe (III)			
Lav	Lav	Lav	Lav	Høy	Oksiderende	200	Elendig
Høy	Lav	Lav	Lav	Høy	Nitratreduksjon / Oksiderende	100	Dårlig
Høy	Lav	Lav	Høy	Lav	Nitratreduksjon / Jernreduksjon	0	Middels
Lav	Lav	Lav	Høy	Lav	Jernreduksjon	-0,1	Middels
Høy	Høy	Høy	Middels	Lav	Nitratreduksjon / Sulfatreduksjon	-200	Bra
Lav	Høy	Høy	Middels	Lav	Sulfatreduksjon	-350	Bra
Lav	Høy	Høy	Høy	Lav	Sulfatreduksjon / Metanogenese	-400	Utmerket

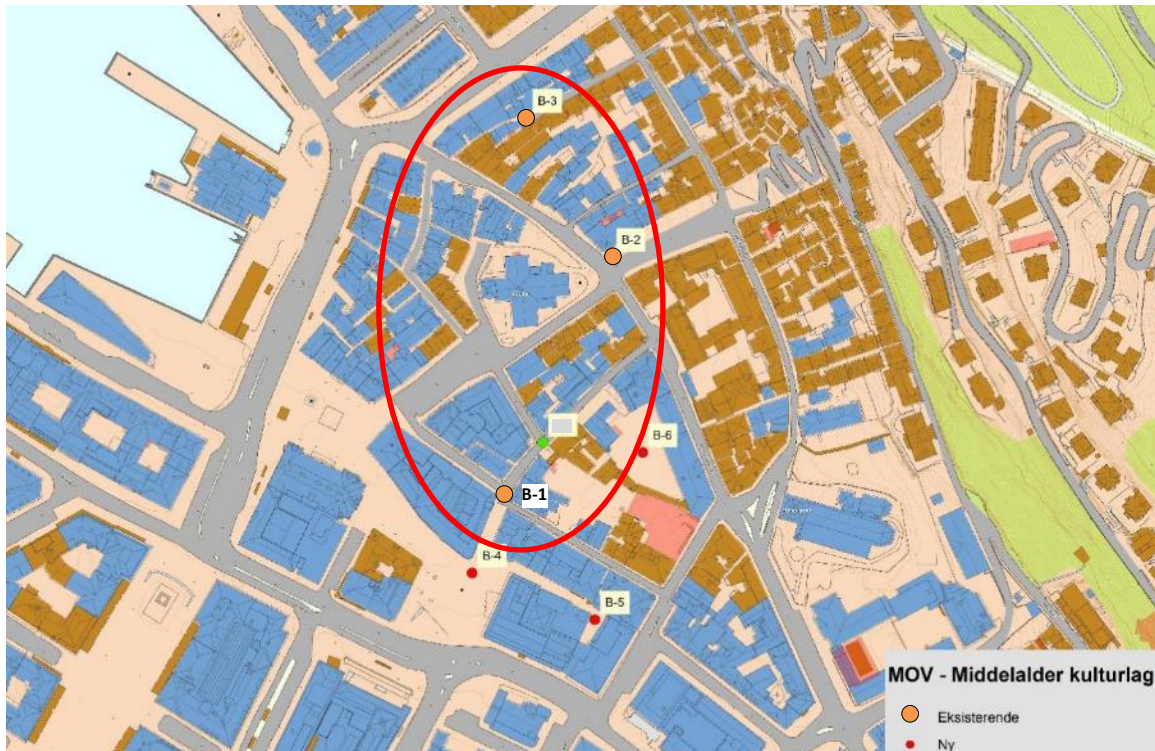
Som avslutningsprosesser for miljøprofiler dekkes det utgravde området med ikke-marin blåleire (jf vedlegg 1). Ved å begrense tilgang til næringsstoffer (som kan være til stede i marin blåleire i form av sulfat, fosfat og bundet karbon) beskytter denne prosessen kulturlaget mot inntrengende oksygen og samtidig reduseres muligheten for drenering av vann og utlekking av salter (f. eks. sulfat) som ville kunne øke nedbrytning av jernstrukturer ved økt dannelse av jernsulfid.

2 Bergen, Vågsbunnen. Beskrivelse av målepunkter B1, B2 og B3

I Bergen er det installert tre målepunkter (B1-miljøbrønn, B2-miljøprofil og B3-miljøbrønn) som vist i Figur 2.

B1 er en miljøbrønn som ble etablert av Multiconsult etter naverboring overvåket av NIKU, og jordkjemiske prøver fra boringen ble analysert av Bioforsk (Dunlop 2013; Bergersen 2014 – kalt VMB01 i begge rapporter). Brønnen ble ikke instrumentert før i 2019 av Cautus/COWI. Det ble ikke utarbeidet en egen MABYMOV installasjonsrapport for B1, men analyseresultatene er gjort tilgjengelig i denne rapporten.

Det ble utarbeidet egne installasjonsrapporter for B2 og B3 med detaljert beskrivelse av installasjonene og oppstart (Martens m.fl., 2019).



Figur 3. Situasjonkart over målepunktene i Bergen. B1, B2 og B3 er vist i oval ring.

Tabell 3 viser en oppsummering av aktivitetene ifm. B1, B2 og B3.

Tabell 3. Aktivitetene ifm. installasjonene i B1, B2 og B3. De grå cellene er tidligere rapportert av Martens m.fl. (2019).

Dato	Lokalitet	Aktivitet / Hendelse
5. juli 2018	B2	Sensorinstallasjon B2
	B2	Midlertidig installasjon loggerskap / koblingsboksen til pH og redokssensorer på rekkverk ved utgraving
30. august 2018	B2	Plassering av kumring over referanseelektrode og koblingsboks på B2
	B2	Montering av permanent skap på vegg
	B2	Kabler lagt inne i trekkerør
3. september 2018	B2	B2 O ₂ sensor 2298 erstattet
6. september 2018	B3	Brønnboring, prøvetaking og sensorinstallasjon i B3
28. september 2018	B2	Havari O ₂ sensor B2 4098. Begge O ₂ sensorene er slått av.
6. oktober 2018	B2	Permanent strømløsning på plass på B2. O ₂ Sensor 2298 slått på.
10. desember 2018	B3	Kalibrering og batteriskift B3
25. mars 2019	B3	Kalibrering og batteriskift B3
27. september 2019	Alle	Etablering B1 – miljøbrønn, kalibrering og batteriskift B3, vedlikehold B2

2.1 Miljøbrønn B1

B1 er et borehull med vannkvalitets-multisonde i grunnvann. Brønnen ligger i Skostredet, nærmest Skostredet 10 og brønnen hadde opprinnelig benevnelse VMB01 hos NIKU, endret til B1 i MABYMOV prosjektet, se Figur 3. B1 ble boret/installert (men ikke instrumentert) i desember 2012.

Følgende måleparametere overvåkes i brønnen:

- > Temperatur
- > pH
- > Ledningsevne

- > Redoks (ORP)
- > Oksygen
- > Vannstand



Figur 4. Plasseringen til brønn B1.

2.2 Miljøprofil B2

Profil B2 i krysset av Kong Oscars Gate og Øvre Korskirkeallmenningen ble frilagt ved arkeologisk utgraving i forbindelse med utbygning av bossnett og annen infrastruktur. Profilen ble dokumentert og kulturlag tilstandsvurdert av arkeolog 4. juli 2018. Den 5. juli ble det tatt ut prøvemateriale til jordkjemisk og jordfysisk analyse. Sensorene ble installert i B2 den 5. juli 2018. Under installasjonene ble det også satt opp en midlertidig strømforsyning med kobling til pH og redokssensorene på rekkverk ved utgravingen. Ferdig monterte sensorer – og så stor del av profilveggen som det var mulig - ble dekket til med et lag av blåleire. Leiren ble hentet fra Karmøy. Det ble brukt en ikke-marin leire med akseptabel plastisitet som side-dekkmasse i utgravingsprofiler og tildekking av sensorer, for å sikre minst mulig lufttilgang til og avvanning av de tilstøtende kulturlagene. Ca. 4 m³ leire ble brukt under tildekkingen.



a) Prøvetaking B2



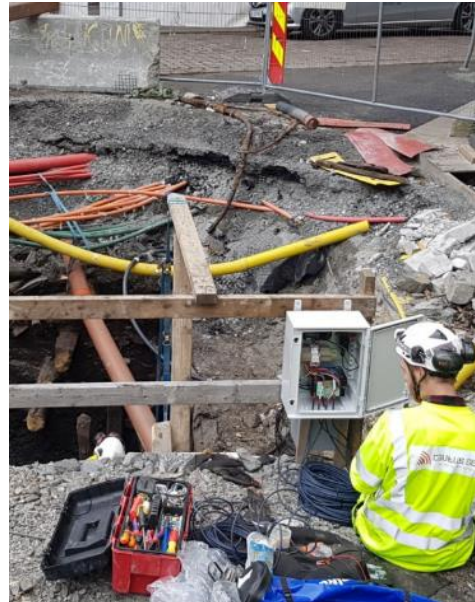
b) Sensor installasjon



c) Sensor installasjon



d) Sensorene i profil



e) Installasjon midlertidig strømforsyning



f) Montering permanent strømkilde



g) Ferdig montert skap på veggen



h) Ferdigstilt installasjon

Figur 5. Prøvetaking og installasjon av sensorene i B2 profil, montering fast skap på veggen, strømkilde og ferdigstilt installasjon.

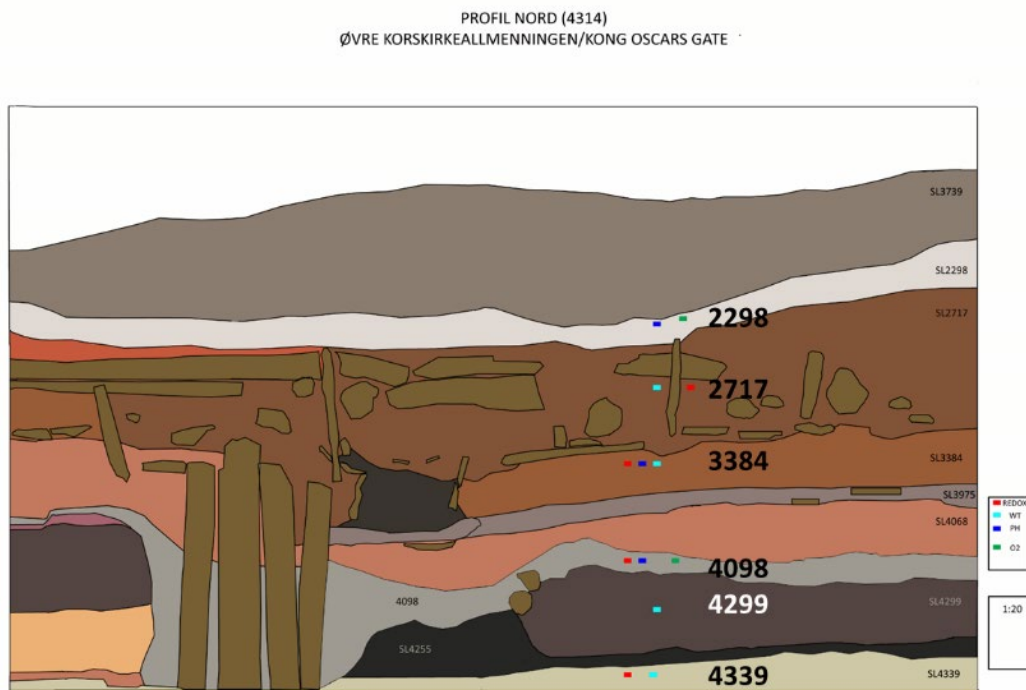
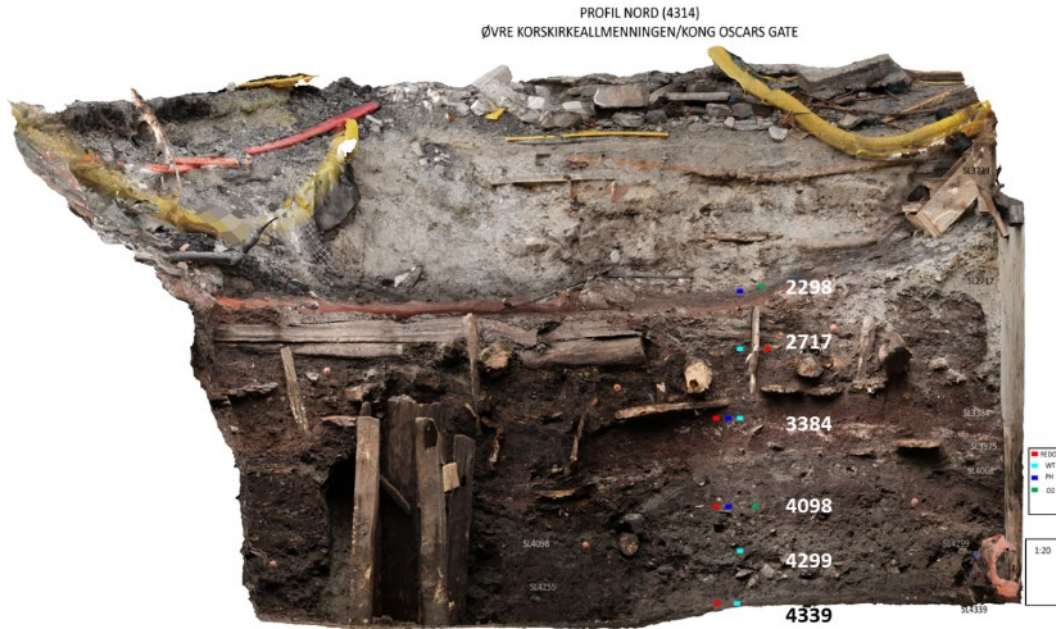
B2 profilen overvåkes på forskjellige dybder for følgende parametre:

- > pH
- > Ledningsevne
- > RedOks-potensial
- > Oksygen
- > Fuktighet

30. oktober 2018 ble et permanent skap montert på veggen, en kumring plassert over referanseelektrode og koblingsboksen på B2 og kablene ble lagt inne i et trekkerør.

En permanent strømforsyning ble lagt inn i skapet den 6. oktober 2018.

En oversikt over sensorene, overvåkingsparametere og høyder vises i Tabell 4. Figur 6 viser sensorplasseringer i kulturlagene. Se vedlegg 2 for å se denne figuren i større format.



Figur 6. Fotografi (ovenfor) og skjematisk tegning (nederst) av sensorplasseringer i B2 miljøprofil (se vedlegg for større format).

Tabell 4. Oversikt over elektrode plasseringer og høyder for miljøprofil B2.

Instrument	Lokasjon	Moh
ecoTech pH 1-2	2298	4,103
ecoTech pH 3-4	3384	3,103
ecoTech pH 5-6	4098	2,726
ecoTech redoks 7-8	2717	3,441
ecoTech redoks 9-10	3384	3,111
ecoTech redoks 11-12	4098	2,726
ecoTech redoks 13-14	4339	2,220
Apogee oksygen	2298	4,103
Apogee oksygen	4098*	2,726
Campbell vanninnhold	2717	3,441
Campbell vanninnhold	3384	3,111
Campbell vanninnhold	4299	2,420
Campbell vanninnhold	4339	2,220

*Feil i sensor grunnet smelting / kortslutning i elektroden. Sensoren tatt ut av drift.



Figur 7. Havarert O₂ sensor 4098.

Under installasjonsperioden ble det observert feil i signalet fra O₂ sensor 4098. Sensoren ble erstattet, men det var fortsatt feil i signalene fra den nye sensoren. Dette vist seg til å være en produksjonsfeil som nå er kartlagt av Cautus Geo og Apogee som produserer sensorene. Figur 7 viser den havarete sensoren. Denne sensoren målte både temperatur og O₂ verdier. Dataene fra denne havarete sensoren for 4098 presenteres ikke i rapporten.

Det ble også rapportert feil i pH data fra B2. Alle sensorene fulgte samme mønsteret. Dette skyldtes feil prosessering på Cautus Web hvor alle pH-sensorene ble kalibrert mot kun 1 sensor. Cautus Geo har siden rettet opp pH-dataene og mønstrene som innrapporteres fra alle sensorene er korrekte.

2.3 Miljøbrønn B3

Miljøbrønn B3 ligger i Nedre Hamburgersmauet. Brønnen ble boret den 6. september 2018. Det ble tatt jordprøver av NIKU i forbindelse med boring av brønnen.

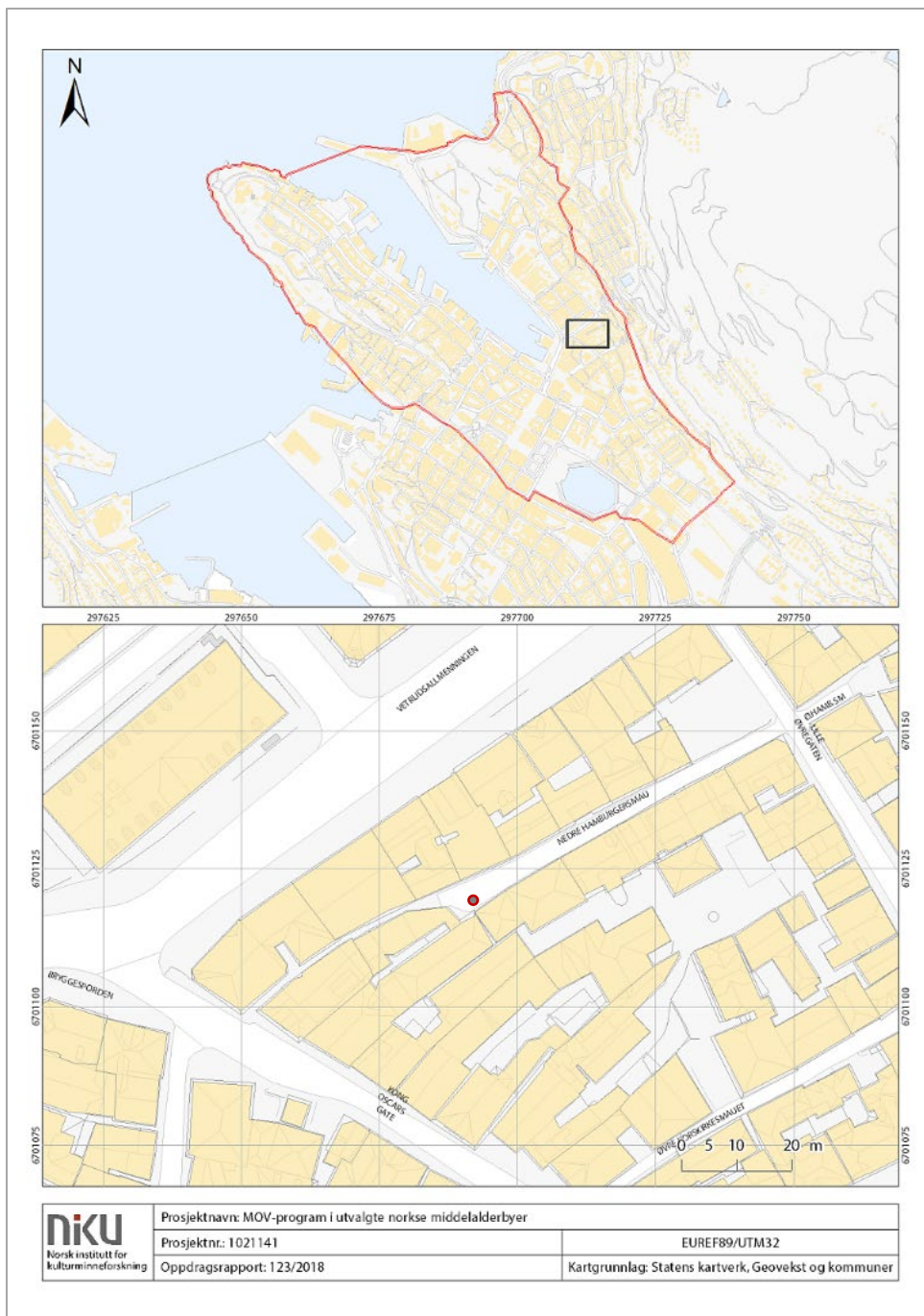
Det er installert en vannkvalitets-multisonde i grunnvann i B3, se Figur 8. Følgende måleparametere overvåkes i brønnen:

- > Temperatur
- > pH
- > Ledningsevne
- > Redoks-potensial (ORP)
- > Oksygen
- > Vannstand

Det ble tatt ut jordprøver fra naverboringen september 2018, og resultatene fra analysene er tidligere rapportert i Martens m.fl. (2019) og er gjengitt i Tabell 10, Tabell 11 og i avsnitt 8.3.

Etter installasjonen av sensorene og ferdigstilling av brønnen, ble det oppdaget en sprekk i brønnlokket på B3. Dette medførte økt inntrengning av oksygen i brønnen og påvirket både O₂ og RedOks målinger. Et nytt brønnlokk ble installert den 31. januar 2019.

Figur 9 viser boring, prøvetaking og sensorinstallasjon i Nedre Hamburgersmauet.



Figur 8. Plassering av miljøbrønn B3. (Kart: NIKU)



a) Borerigg og sensor installasjon



b) Prøvetaking



c) Trekkør for sensorkabler



d) Ferdig montert installasjon

Figur 9. Bilder fra boring, prøvetaking og installasjonen av miljøbrønn B3.

3 Arkeologiske, historiske og topografiske opplysninger - Bergen

Undersøkellesområdene ligger innenfor det automatisk fredede kulturminnet Middelalderbyen Bergen, Askeladden ID-nummer 89049, og i utkanten av Vågsbunnen, én av middelalderbyens viktigste historiske bydeler. Som i dag, har det aktuelle undersøkelsesområdet trolig befunnet seg i et område dominert av verdslig bebyggelse nesten helt siden byens oppkomst. Det kan ha vært en del av et håndverkerstrøk – bestående av skomakerne i all synlighet – i løpet av middelalderen.

I Kong Oscars gate var det foretatt en arkeologisk undersøkelse i forbindelse med utbygging av bossnett og annen infrastruktur som ble benyttet for miljøprofil B2. Her var det kjent at middelalderske kulturlag og kontekster var bevart i litt over to meters tykkelse under omtrent en meter med etterreformatoriske lag.

Kulturlagstykkelsen i tiltaksområdet for miljøbrønn B3 var forventet å være opptil fire meter. Det var ingen tvil om at borearbeidet i Nedre Hamburgersmauet ville medføre konflikt med automatisk fredete kulturminner i form av kulturlag fra middelalderen. Overgangen fra etterreformatoriske til middelalderske kulturlag var forventet å ligge på en dybde av to meter fra dagens overflate.

4 Miljøundersøkelsene: metoder og gjennomføring

I Kong Oscars gate (miljøprofil B2) var det foretatt en arkeologisk undersøkelse i form av utgravning i forbindelse med utbygging av bossnett og annen infrastruktur. Profil ble avdekket og dokumentert i den forbindelse, men ble rensert opp og klargjort for prøvetaking i forbindelse med inneværende prosjekt ved arkeolog Vibeke Vandrup Martens, NIKU. All tolkning av kulturlagene og vurderingen av deres bevaringstilstand ble gjort gjennom samarbeid mellom de to prosjektene (Per Christian Underhaug fra NIKUs distriktskontor i Bergen og Vibeke Vandrup Martens), mens prøvetaking og utstyrsinstallasjon utelukkende ble utført av personale fra NIKU og Cautus Geo i inneværende prosjekt (Vibeke Vandrup Martens, NIKU; Lars Krangnes og Mike Voellmecke, Cautus Geo AS). Jordprøver ble innlevert til COWI samme dag som de ble tatt. Sikring av eksponert profil og installert utstyr med leire ble også utført som samarbeid mellom prosjektenes arkeologiske personale, med hjelp av gravemaskinfører tilknyttet prosjektet for bossnett-utgravningen (Martens m. fl. 2019).

Borearbeidet (miljøbrønn B3) ble utført av Vestnorsk Brunnboring AS, med arkeolog fra NIKU distriktskontor Bergen (Rory Dunlop) som ansvarlig for det arkeologiske registreringsarbeidet. Boringen ble utført som naverboring med beltegående borerigg; utstyret var dessverre ikke helt optimalt, men det var ikke mulig å få en større borerigg inn i det trange smauet. Arkeologen gransket lengdene tatt opp med naverboret fortløpende og registrerte jordlagssekvensene i henhold til Norsk Standard NS9451:2009 (Standard Norge 2009) i utgangspunkt. Arkeologen var også ansvarlig for uttak av jordprøvene til geokjemisk analyse.

Fra COWI AS og Cautus Geo AS deltok henholdsvis Jostein Soldal og Lars Krangnes. Soldal tok imot jordprøvene, mens Krangnes installerte sensoren i miljøbrønnen og satte opp loggerskapet.

Innmåling av miljøprofil B2 ble utført av NIKU, mens innmåling av borepunkt B3 ble foretatt av COWI AS. Forkortelsen «moh» står for «meter over havet» (med utgangspunkt i referansesystemet NN2000); høyder under havnivå angis med et minustegn foran.

Det ble samlet inn to prøver til karbondatering fra B3. Disse er registrert i MUSIT-systemet under museumsnummer «BRM1173». Ingen gjenstander ble samlet inn (Martens m. fl. 2019).

Overvåkingpunkt B1; her ble naverboring utført av Multiconsult og NIKU ved Rory Dunlop i desember 2012 (Dunlop 2013; Bergersen 2014).

5 Resultater fra det arkeologiske feltarbeidet

5.1 Generelle forklaringer

Resultatene er presentert hovedsakelig i tabellform, og da kan det trenes et par forklaringer.

Nummerering av arkeologiske kontekster/kulturlag i Kong Oscars gate og sjiktene i brønnboringen i Nedre Hamburgersmauet er generert i dokumentasjonssystemet Intrasis. Betegnelsen 'sjikt' istedenfor 'lag' benyttes om den stratigrafiske enheten i grunnboringer. Kolonnen med overskrift «Bev» inneholder angivelse av det enkelte lagets eller sjiktets bevaringstilstand i henhold til SOPS-tabellen i NS9451:2009. Kolonnen med overskrift periode: MA betyr middelalder; mod betyr moderne. Ved undersøkelsen av B2 var det varierende værforhold, men det var strålende sol 4. juli og overskyet 5. juli – det vil si strålende Bergensvær. Værforholdene under feltarbeidet for B3 var veldig dårlige, med tunge skyer og mye regn.

5.2 Profilveggen i Kong Oscars gate: observasjoner

Det henvises til kapittel 16 Dokumentasjon for bilder av profilen og feltarbeid.

5.2.1 Miljøprofil B2 (NIKU betegnelse 1021141 B-2)

Profilveggen lå i nordvestre hjørne av sjakten om ble utgravd for bossnett og annen infrastruktur på hjørnet av Kong Oscars gate og Øvre Korskirkeallmenningen.

Tabell 5: Kulturlag i miljøprofil B2 (NB tabellen fortsetter på neste side)

Moh fra	Moh til	Kontekst-nummer	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
4,10	3,90	2298	Jordprøve tatt ut for S1 analyse	1568	A2	Grått brannlag med sorte flekker (etter brann 14. feb. 1568). Består av mye aske og kull. Svak jordluft. Dårlig bevaringstilstand.
3,90	3,50	2303		MA		Mørkebrun, kompakt jord, leirholdig, delvis fet og med sporadiske innslag av trekull og steiner. Laget inneholder store mengder hoggflis og treverk (både mindre trebiter og planker), beinavfall, lærbiter, skosåler, fiskebein, dyrebein og horn. Lukt av jord, middels. Utfyllingslag mellom to byggefaser.
3,50	3,10	2717	Jordprøve tatt ut for S2 analyse	MA	A3-4	Mørk brun, plastisk sand- og siltblandet humus med store mengder læravfall og mye tre. Middels H ₂ S lukt. Veibane. Skomakeri. Middels til bra bevaringstilstand.
3,10	2,80	3384	Jordprøve tatt ut for S2 analyse	MA	A2	Brun sterkt sandblandet humus med svak lukt av H ₂ S. Linser av

Moh fra	Moh til	Kontekst-nummer	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
						skjellsand. Sekundært dumpete avfallsmasser (garveri), utfylling/planering. Dårlig bevaringstilstand.
2,80	2,60	3975		MA	A4	Svartbrun halvkompakt sandblandet humus med innslag av hoggflis, fiske- og dyrebein. Svak lukt av H ₂ S. Brannlag. Bra bevaringstilstand.
2,60	2,45	4068	Jordprøve tatt ut for S2 analyse	MA	A2	Mørk brun løs sandblandet humus. Svak lukt av H ₂ S. Huggflislag, tømmer- og byggearbeid. Dårlig bevaringstilstand.
2,60	2,50	4098	Jordprøve tatt ut for S2 analyse. Londonware, Hull, Andenne keramikk 1100-t. Type a kleberkar.	MA	A4	Kompakt brunsvart lag med svak lukt av H ₂ S. Mye torv og mose, møkk, frø, nøtter, dyrebein. Gulvlag? eller åpent område? Bra bevaringstilstand.
2,45	2,30	4299	Jordprøve tatt ut for S1 analyse	MA	A/B3	Løst lag av lys gråbrun sterkt sandblandet humus med svak lukt av H ₂ S. Aktivitetslag før første byggefase. Ubrent tre, dyrebein, møkk, kvister, stein og lær (strimler og avklipp). Middels bevaringstilstand, mulig fluktueringsone.
2,30	2,20	4255		MA	B2	Kompakt brunt lag av stein og sand iblandet humus og litt skjell, svak lukt av H ₂ S. Utfyllings-/stabiliseringslag. Dårlig bevaringstilstand.
2,20	1,80	4339	Jordprøve tatt ut for S2 analyse		B/C2	Halvkompakt mørk brunt lag av torv og humus iblandet silt og litt treflis. Strandeng? Middels lukt av H ₂ S. Dårlig bevaringstilstand. Mettet sone?

(NB tabell fortsatt fra forrige side)

5.3 Naverboringen i Nedre Hamburgersmauet: observasjoner

Det henvises til kapittel 16 Dokumentasjon for bilder av borelengdene.

5.3.1 Borepunkt B3 (NIKU betegnelse 1021141 B3)

Borepunktet for brønnen lå mot sørøst i den bredeste delen av smauet, et par meter vest for det nordre hjørnet til Kong Oscars gate 4. Punktets koordinater var N6701118,0/Ø297690,0 og dagens overflate av brostein lå ved ca. 5,3 moh.

Miljøbrønnen betegnet «1021141 B-3» ble anlagt i borehullet. Grå sjattering i tabellen under viser de sjiktene som dekkes av miljøbrønnfilteret (som hadde en lengde på hele to meter).

Tabell 6: Kulturlag i borepunkt B3 (NB tabellen fortsetter på de to neste sidene)

Moh fra	Moh til	Sjikt-nummer	Samme som sjiktnr.	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
5,30	3,80	4301			Mod	-	Forboret, med føringsrør Brostein over antatte bærelag og steinholdige masser
3,80	3,60	4302			-	-	Intet materiale på boret
3,60	3,50	4303			Nyere tid?	B0	(Lite materiale på boret) Løs, mykt, mørkegrå humus med en god del forholdsvis store røde teglstykker Trolig en form for rivningslag. Ubestemmelig bevaringstilstand
3,50	3,35	4304		Jordprøve B3-01 tatt ut for S1 analyse	MA?	B2	Grå, halvkompakt, sandholdig humus med en del treflis/-trestykker (dårlig bevarte, liggende på alle inklinasjonsvinkler) Trolig avfallsakkumulasjon i et dråpefallsområde Dårlig bevaringstilstand
3,35	3,20	4305			MA	C0	Løs, gulbrunlig grov sand med en del grus/småsteiner og et par veldig dårlig bevarte trestykker Trolig avsatt i et dråpefallsområde. Ubestemmelig bevaringstilstand
3,20	3,05	4306		Jordprøve B3-02 tatt ut for S2 analyse	MA	C2	Mørkegrå, kompakt, noe sandholdig humus med en del treflis/trestykker (dårlig bevarte, liggende på alle inklinasjonsvinkler), et par hasselnøtteskall og et par små stykker av trekull Trolig avfallsakkumulasjon i et dråpefallsområde Dårlig bevaringstilstand
3,05	2,90	4307			MA	C0	Løs, våt, gulbrunlig fin til grov sand med en del grus/småsteiner og mindre steiner

Moh fra	Moh til	Sjikt-nummer	Samme som sjiktnr.	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
							Trolig avsatt i et dråpefallsområde. Ubestemmelig bevaringstilstand
2,90	2,75	4308			MA	C2	Mørkegrå, mykt, finsandholdig humus med noen få treflis/-trestykker (dårlig bevarte, liggende på alle inklinasjonsvinkler) og et hasselnøtteskall Trolig avfallsakkumulasjon i et dråpefallsområde Dårlig bevaringstilstand
2,75	2,55	4309			MA	C3	Grå halvkompakt, fin til grov sand med enkelte grus/-småsteiner og en del treflis (middels-bra bevarte, liggende på vilkårlige inklinasjonsvinkler) Trolig avsatt i et dråpefallsområde Middels-bra bevaringstilstand
2,55	2,45	4310		Jordprøve B3-03 tatt ut for S1 analyse	MA	C2	Mørkegrå/-brun, kompakt humus med en del treflis/-trestykker (dårlig bevarte, liggende på alle inklinasjonsvinkler), et par hasselnøtteskall og noe finsand og silt Svak H ₂ S lukt Trolig avfallsakkumulasjon i et dråpefallsområde Dårlig bevaringstilstand
2,45	2,30	4311			MA	C0	Løs, grå, mest grov sand med noe finsand, en del grus/-småsteiner og et par mindre steiner Trolig avsatt i et dråpefallsområde. Ubestemmelig bevaringstilstand
2,30	2,10	4312		Jordprøve B3-04 tatt ut for S2 analyse	MA	C2	Mørkegrå, kompakt humus med en del treflis/trestykker (dårlig bevarte, liggende på alle inklinasjonsvinkler), et større stykke av delvis svidd tre, en mosestengel, noen hasselnøtteskall og litt finsand og silt Middels H ₂ S lukt Trolig avfallsakkumulasjon i et dråpefallsområde. Dårlig bevaringstilstand
2,10	1,95	4313			MA	C0	Løs, grå, mest grov sand med noe silt og finsand, en del grus/småsteiner og et par mindre steiner

Moh fra	Moh til	Sjikt-nummer	Samme som sjiktnr.	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
							Trolig avsatt i et dråpefallsområde. Ubestemmelig bevaringstilstand
1,95	1,40	4314		Jordprøver B3-05 og B3-06 tatt ut for S2 analyse BRM1173/1 (nøtt) fra 1,90 moh	MA AD 992-1151	C3	Grå/brun, kompakt humus med en del treflis/trestykker (middels-bra bevarte, liggende for det meste vannrette; delvis frisk farge), noen små stykker av bark og kvist, noen hasselnøtteskall, noen små stykker av lær, litt finsand og silt, og enkelte mindre avrundete steiner Middels H ₂ S lukt Trolig avfallsakkumulasjon i et dråpefallsområde Middels-bra bevaringstilstand
1,40	1,30	4315			MA	C0	Løs, grå, mest grov sand med noe finsand, en del grus/småsteiner og noen avrundede mindre steiner Trolig avsatt i et dråpefallsområde. Ubestemmelig bevaringstilstand
1,30	1,20	4316			MA	C3	Rødbrunt, mykt ekskrement og humus med enkelte små treflis/trestykker (middels-bra bevarte, liggende for det meste vannrett), noen mosestengler, og veldig lite finsand og silt Middels H ₂ S lukt («varm»); middels rask mørkning Trolig in-situ latrineavsetning Middels-bra bevaringstilstand
1,20	0,70	4317		Prøve B3-07 fra 1,00-0,90 moh til S1 analyse BRM1173/2 (nøtt) fra 1,00 moh	MA AD 1013-1154	C2	Våt, løst, grå sand (alle fraksjoner) med silt, grus, småsteiner og enkelte mindre steiner, en del dårlig bevarte treflis og enkelte små stykker av hasselnøtteskall Veldig lite organisk materiale fra 0,90 moh og nedover Jord lukt Dårlig bevaringstilstand
0,70	-0,20	4318			For-historisk	C0	Øverst geologisk avsetning Våt, plastisk, klebrig, homogen, lysegrå silt og finsand
-0,20					geologi	-	Naverboring avsluttet

*Bev = bevaringstilstand. (NB tabell fortsatt fra to forrige sider)

Den samlede kulturlagstykkelsen var på ca. 3,0 meter (sjikt 4301 og 4302 er ikke tatt med).

6 Dateringer og funn

Alle analyser av gjenstander og dateringsprøver fra miljøprofil B2 ved Kong Oscars gateundersøkelsen ble utført i forbindelse med prosjektet for bossnett-utgravningene, NIKU prosjektnr. 1020794.

Det ble samlet inn to prøver til karbondatering ved B3. Disse er registrert i MUSIT-systemet under museumsnummer «BRM1173». Ingen gjenstander ble samlet inn. Karbondateringene ble utført av 14Chrono Centre, Queen's University Belfast.

6.1 Karbondateringer

6.1.1 Miljøbrønn 1021423-1 (B3)

To dateringsprøver ble samlet inn. Et hasselnøttskall (tilvekstnummer BRM1173/1, lab. ref.-nr. UBA-39674) fra 1,90 moh i sjikt 4314 er datert til 987 ± 26 BP, kalibrert til AD 992-1151 (2 sigma). I tillegg er et hasselnøttskall (tilvekstnummer BRM1173/2, lab. ref.-nr. UBA-39675) fra 1,00 moh i sjikt 4317 datert til 976 ± 25 BP, kalibrert til AD 1013-1154 (2 sigma).

6.2 Datering og konklusjoner

Overgangen til middelalderske kontekster ser ut til å ligge ved ca. 3,50 moh i borepunkt 1021141 B-3. Det er i hvert fall konstatert avsetninger fra tidlig middelalder.

6.3 Funn

Noen små stykker av lær ble funnet (men ikke beholdt) i sjikt 4314 i B3. Sjiktene var ellers funntomme. For B2 henvises til separat rapportering for prosjekt nr 1020794.

7 Arkeologisk vurdering av bevaringstilstand

Bevaringstilstanden i umettet sone (miljøprofil B2) er svært varierende ut ifra lagenes/kontekstenes karakter. Primærkontekster har stort sett bedre bevaring enn sekundært deponerte lag, der det historisk har pågått nedbrytning. Nederst i profil er lag i fluktueringssonen, og det er til og med mulig at strandengen i bunn ligger i mettet sone, men det var meget tørt på undersøkelsestidspunktet og derfor vanskelig å avgjøre.

Bevaringssituasjonen i den mettede sonen (miljøbrønn B3) er stort sett tilfredsstillende. Evalueringen av bevaringstilstanden til kulturlagene presenteres i Tabell 7.

Tolkning av bevaringssituasjonen forkludres til en viss grad av følgende mangler:

- Man har ennå ikke kartlagt grunnvannsnivå ved B3 – og det er kjent hvor avgjørende tilstedeværelse av grunnvann er for bevaring. Dette vil kunne utleses av overvåkingsdata.
- Det finnes intet grunnlagsmateriale for å kunne sammenligne bevaringstilstanden tidligere (det vil si, for flere år eller tiår siden) med bevaringstilstanden nå.

Alt i alt betyr dette at man ikke har noe grunnlag for å si om det er blitt forandringer i bevaringstilstanden i løpet av nyere tid, og heller ikke kan man fra arkeologisk side si noe om hvorvidt det pågår en eventuell forverring av bevaringstilstanden.

På den positive siden kan det påpekes at de yngre jordmassene på toppen av de mer organiske-rike kulturlagene antagelig er med på å beskytte sistnevnte til i hvert fall en viss grad. Da blir det viktig fremover å sikre at dette lokket holdes så intakt som mulig, for å forhindre at nedbrytningshastigheten økes.

Tabell 7. Skjematisk sammenligningspresentasjon av bevaringstilstanden (visuell vurdering) til kulturlagene i boringen. Hvert enkelt symbol representerer en tykkelse på omkring 20 centimeter, og dybde fra overflaten øker fra venstre mot høyre. Grå fargen markerer den omtrentlige dybden av miljøbrønnens filter.

Borepunkt 1021141 B-3	Moh
00	6,0 – 5,0
00000	5,0 – 4,0
0?X\$X	4,0 – 3,0
XXX\$X	3,0 – 2,0
XXXXX	2,0 – 1,0
XNNNN	1,0 – 0,0
NA	0,0 – -1,0

SYMBOLER	
X - ELENDIG	? - UBESTEMBAR
X - DÅRLIG	0 - INGEN JORD PÅ BORET
X - MIDDELS	N - NATURLIG
X - BRA	A - NAVERBORING AVSLUTTET
X - UTMERKET	§ - IKKE ORGANISK
	F - FJELL



8 Resultater av jordkjemiske analyser - Bergen

8.1 Resultater fra B1

Det ble tatt ut jordprøver fra boringen i 2012, rapportert i Bergersen 2014. Resultatene fra analysene er gjengitt i Figur 9. Brønnen var 4 m dyp med grunnvann på 1,80 m fra overflaten. Det var sulfidlukket i brønnen.




Borehull prøve nr	Dyp (m)	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold	Bevaringsforhold
MB01-01		Middels org. - og vanninnh.	Middels surt og middels	Sulfat til jern reduserende	Bra A4
MB01-02		Høyt org. - og vanninnh.	Surt og middels	Sulfat til jern reduserende	Bra A4
MB01-03		Høyt org. - og vanninnh.	Svakt surt og middels	Sulfat til jern reduserende	Bra A2
MB01-04		Høyt org. - og vanninnh.	Surt og lavt	Jern reduserende	Middels A3
MB01-05		Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og middels	Sulfat til jern reduserende	Bra A4
MB01-06		Høyt org. - og vanninnh.	Middels surt og middels	Sulfat til jern reduserende	Bra A4



Borehull prøve nr	Dyp (m)	TS %	Glødetap %	Vann innh %	pH	Ledn.evne uScm ⁻¹
MB01-01		60.8	16.9	39.2	5.3	2830
MB01-02		30.8	49.7	69.2	4.3	2732
MB01-03		23.6	46.1	76.4	6.2	2884
MB01-04		33.5	62.7	66.5	4.9	2077
MB01-05		45.8	44.7	54.2	7.0	3168
MB01-06		28.8	61.1	71.2	5.3	2207

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

Borehull prøve nr	Dyp (m)	Nitrat - N (mg/kg TS)	Ammonium-N (mg/kg TS)	Sulfat (mg/kg TS)	Sulfid (mg/kg TS)	Jern (II) (mg/kg TS)	Jern (III) (mg/kg TS)	Andel av Jern (II)
MB01-01		0.8	4.4	7570	172	199	20	91%
MB01-02		3.9	9.0	13745	491	397	397	50%
MB01-03		2.0	3.0	18911	130	639	530	55%
MB01-04		1.4	2.5	5350	66	318	121	72%
MB01-05		1.0	1.6	5642	101	256	78	77%
MB01-06		1.6	2.7	6658	168	273	35	89%

Borehull prøve nr	Dyp (m)	Bevaring		
		Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks forhold *
MB01-01		Bra	Dårlig	A4
MB01-02		Bra	Elendig	A4
MB01-03		Bra	Middels	A4
MB01-04		Middels	Elendig	A3
MB01-05		Bra	Middels	A4
MB01-06		Bra	Dårlig	A4

 Elendig til dårlig
 Middels
 Bra til utmerket

 Oksiderende forhold
 Reduserende forhold
 * SOPS : Status etter Norsk Standard NS 9451:2009

Figur 10. Analyser av prøver fra VMB01 Skostredet (Bergersen 2014).

8.2 Resultater fra B2

Resultatene fra jordprøvene fra B2 vises i Tabell 8. Resultatene viser lave verdier for ledningsevne fra omtrent alle lokasjoner mellom 130 og 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, med unntak av 4339 og 4299 som viste enda lavere verdier på 67 til 77 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nitrat-N verdier var under deteksjonsgrensen på alle prøvene. Det var også tilfelle for Fe^{2+} . Sulfat verdier var mellom 93 og 290 ppm (som mg/kg TS). $\text{NH}_4\text{-N}$ varierte mellom 20 og 130 mg/kg TS. Det ble også rapportert om betydelige sulfidkonsentrasjoner i de fleste av prøvene med verdier mellom 79 og 380 mg/kg, med unntak av prøve 4068 som var under deteksjonsgrensen. Sulfidverdiene viser rimelig stabile betingelser i jorden som sannsynligvis har veldig lave redoks verdier, hvilket bevirker at nedbrytning av organisk material går meget sakte. Fraksjonen av prøver < 5mm var omkring 50% i de fleste av prøvene, hvilket indikerer en del (tidligere) nedbrytning av større organiske strukturer til mindre partikler. Økt oksygentilgang vil gi økt Fe^{2+} innhold og ville også oksidere bort S^{2-} . Økt karbon-nedbrytning som et resultat av økt mikrobiell aktivitet vil gi mye mindre partikkelstørrelser i jordpartikler. En vurdering av tilstand i prøvene fra sensorlokasjoner vises i Tabell 9. Vurderingen er basert på NS 9451:2009 og tolkning av analyseresultater presentert i Tabell 8.

Tabell 8. Analyseresultater for jordprøvene tatt fra B2 miljøprofil. Prøvene er presentert etter høyden (som moh). *Prøven er tatt fra ukjent presis moh verdi, lagets avgrensning i moh angis i parentes.

Prøvelokus (Sensor og kontekst) og høyden (moh)	pH	Ledningsevne (mS/m)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/kg TS)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg TS)	SO_4 (mg/kg TS)	Total S^{2-} (mg/kg TS)	Fe^{2+} (% TS)	Fraksjon < 5 mm (humid) (% w/w)	Tørrstoff (%)	Glødetap (% TS)
2298 (4,10)	6,5	11	-	-	-	-	-	-	45,6	28,1
2717 (3,44)	7,4	13	90	<0,33	290	200	<0,0001	56,3	34,4	46,1
3384 (3,10)	7,9	19	130	<0,35	230	380	<0,0001	70,4	27,8	51,9
4098 (2,73)	7,1	11	76	<0,24	110	190	<0,0001	61,6	49,1	24,7
4068* (2,60-245)	7,4	14	83	<0,26	200	<5	<0,0001	70,6	39,2	35,1
4299 (2,42)	7,4	7,7	-	-	-	-	-	-	79,4	3,1
4339 (2,22)	7,1	6,7	20	<0,17	93	79	<0,0001	56,3	54,7	12,6

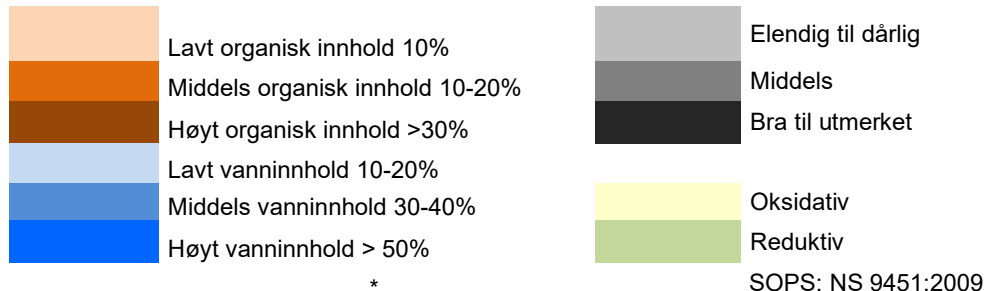
Tabell 9. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra B2.

Sensor/ kontekst	MOH (m)	Organisk innhold (%)	Vanninnhold (%)	pH	Ledningsevne µS/cm	Bevaring			
						Organisk materiale	Uorganisk materiale	RedOks forhold	Arkeologisk tilstand*
2298	4,10	28	54	6,5	110	Bra	Middels	**Oksidativ	A2
2717	3,44	46	66	7,4	130	Middels	Bra	Reduktiv	A3-4
3384	3,10	52	72	7,9	190	Dårlig	Bra	Reduktiv	A2
4098	2,73	25	51	7,1	110	Middels	Bra	Reduktiv	A4
4068	*	35	61	7,4	140	Dårlig	Dårlig	***Oksidativ	A3
4299	2,42	3	21	7,4	77	Bra	Bra	Reduktiv	A/B3
4339	2,22	13	43	7,1	67	Middels	Bra	Reduktiv	B/C2

* prøve MOH ikke målt (lag 2,60-2,45)

** Ingen sulfidanalyser av prøven

*** Svært lav sulfid



8.3 Resultater fra B3

Det ble tatt ut jordprøver fra profilen september 2018, og resultatene fra analysene er tidligere rapportert i Martens m.fl. (2019) og er gjengitt i Tabell 10, Tabell 11 og i teksten under.

Ledningsevne var veldig lave i alle prøvene fra B3. Det var betydelig mindre $\text{NH}_4\text{-N}$ og sulfat i prøvene. Ved mindre sulfatmengder har ikke prøven mulighet til å danne betydelig høye mengder sulfid. Dette vises også i sulfid-resultater som var mellom 22 og 69 mg/kg. Selv om disse verdiene er lave, viser dette at sulfiden øker noe med dybden i brønnen som også indikerer at stabiliteten i lav RedOks forhold øker med dybden. Analyser av total-sulfid på 22 mg/kg viser fremdeles stabile betingelser i jorden og lite inntrengning av oksygen i de øverste deler av laget. Nitrat var under deteksjonsgrensen for alle prøvene. Fe^{2+} ble ikke observert (< 0,0001 % TS), men Tot-Fe målinger som mg/kg viste betydelige mengder Fe til stede i prøvene. Det er mulig at Fe som ble observert i prøvene stammet fra bundne former av jern i tillegg til tidligere oksidert jern. Noe av jernet kan stamme fra tidligere dannet jernsulfid mineraler som igjen kan være et resultat av sulfat-reducerende bakterieaktivitet i kulturlagene ved lave RedOks verdier. I fire av prøvene ble det observert at store deler av jordfraksjonen hadde partikkelstørrelse < 5 mm. Selv om dette indikerer at det har vært betydelig nedbrytning av karbon-baserte strukturer i laget er selve det organiske innholdet i prøvene middels til lavt. Det er mest sannsynlig at partiklene < 5mm stammer fra sand og

jord og ikke kun fra nedbrutt organisk materiale i kulturlagene. Basert på dette kan bevaring av organisk materiale betegnes som bra.

Tabell 10. Analyseresultater for jordprøver tatt fra B3 miljøbrønn.

Prøve (dybde, m)	pH	Ledningsevne (mS/m)	NH ₄ -N (mg/kg TS)	NO ₃ -N (mg/kg TS)	SO ₄ (mg/kg TS)	Total S ²⁻ (mg/kg TS)	Fe ²⁺ (% TS)	Tot-Fe (mg/kg TS)	Fraction < 5 mm (humid) (% w/w)	Tørrstoff (%)	Glødetap (% TS)
B3-01 (1,85-1,95)	6,8	2,4								50,7	23,3
B3-02 (2,10-2,20)	7,0	0,26	<2,4	<0,24	17	22	<0,0001	17000	95,5	51,0	
B3-03 (2,75-2,85)	7,0	2,9								50,0	20,8
B3-04 (3,05-3,15)	7,0	2,9	2,8	<0,15	8,8	43	<0,0001	16000	99,9	49,5	
B3-05 (3,35-3,45)	7,0	2,9	14	<0,29	46	56	<0,0001	17000	28,8	39,2	
B3-06 (3,80-3,90)	7,1	2,7	16	<0,21	10,0	69	<0,0001	12000	100,0	51,0	
B3-07 (4,30-4,40)	7,0	0,29								88,9	0,9

En vurdering av tilstand i prøvene fra sensorlokasjoner vises i Tabell 11. Vurderingen er basert på NS 9451:2009 og tolkning av analyseresultater som er presentert i Tabell 10.

Tabell 11. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra B3.

Prøve	Dybden (m)	Organisk innhold (%)	Vanninnhold (%)	pH	Ledningsevne µS/cm	Bevaring			
						Organisk materiale	Uorganisk materiale	RedOks tilstand	Arkeologisk tilstand
B3-01	(1,85-1,95)	23	49	6,8	24	Bra	Bra	Reduktiv	B2
B3-02	(2,10-2,20)	*	49	7,0	2,6	Bra	Bra	Reduktiv	C2
B3-03	(2,75-2,85)	21	50	7,0	29	Bra	Bra	Reduktiv	C2
B3-04	(3,05-3,15)	*	51	7,0	29	Bra	Bra	Reduktiv	C2
B3-05	(3,35-3,45)	*	61	7,0	29	Bra	Bra	Reduktiv	C3
B3-06	(3,35-3,45)	*	49	7,0	27	Bra	Bra	Reduktiv	C3
B3-07	(4,30-4,40)	1	11,1	7,1	2,9	Bra	Bra	Reduktiv	C2

* Prøven ikke analysert

	Lavt organisk innhold 10%
	Middels organisk innhold 20-30%
	Høyt organisk innhold >30%
	Lavt vanninnhold 10-20%
	Middels vanninnhold 30-40%
	Høyt vanninnhold > 50%

	Elendig til dårlig
	Middels
	Bra til utmerket

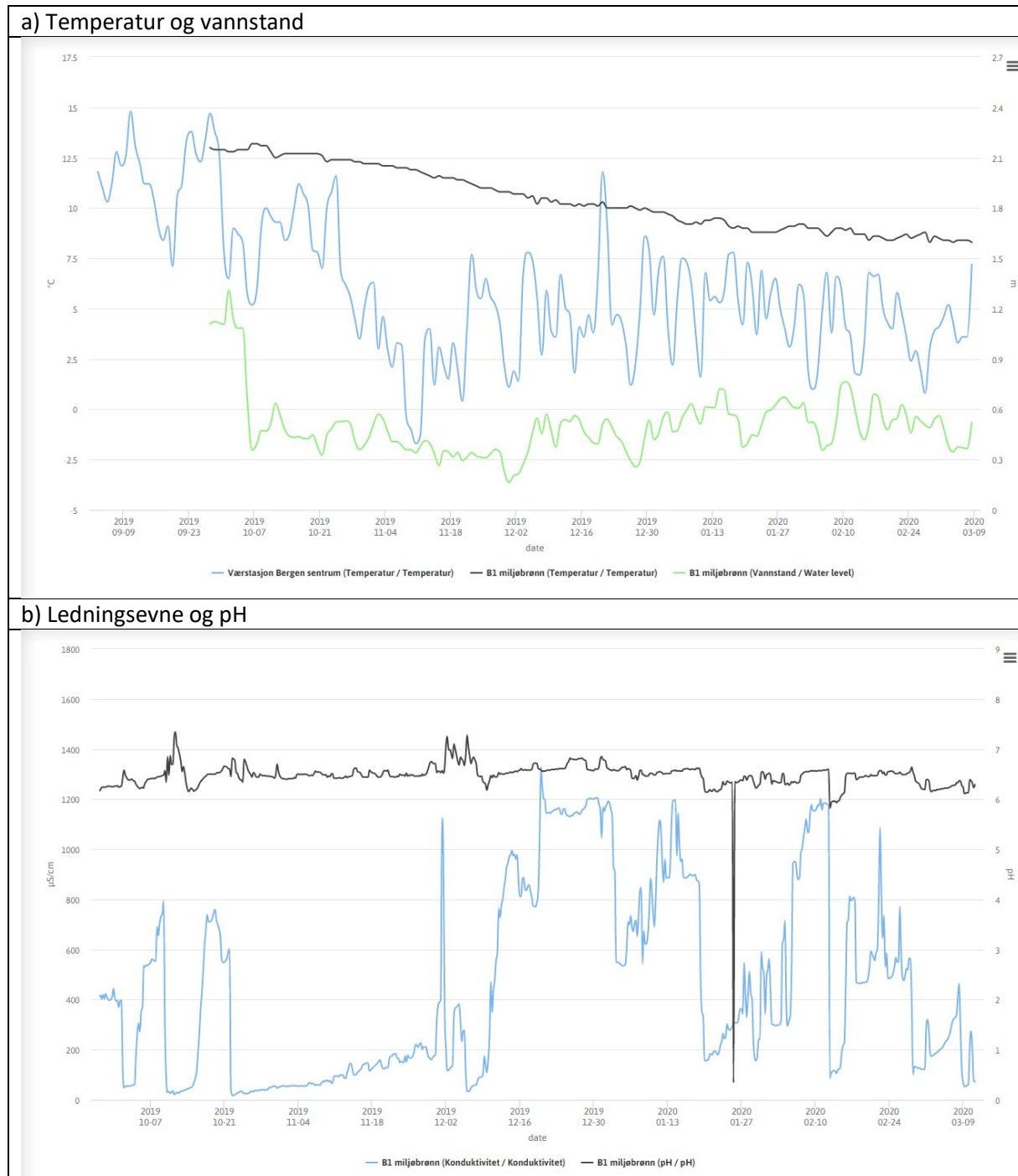
	Oksidativ
	Reduktiv

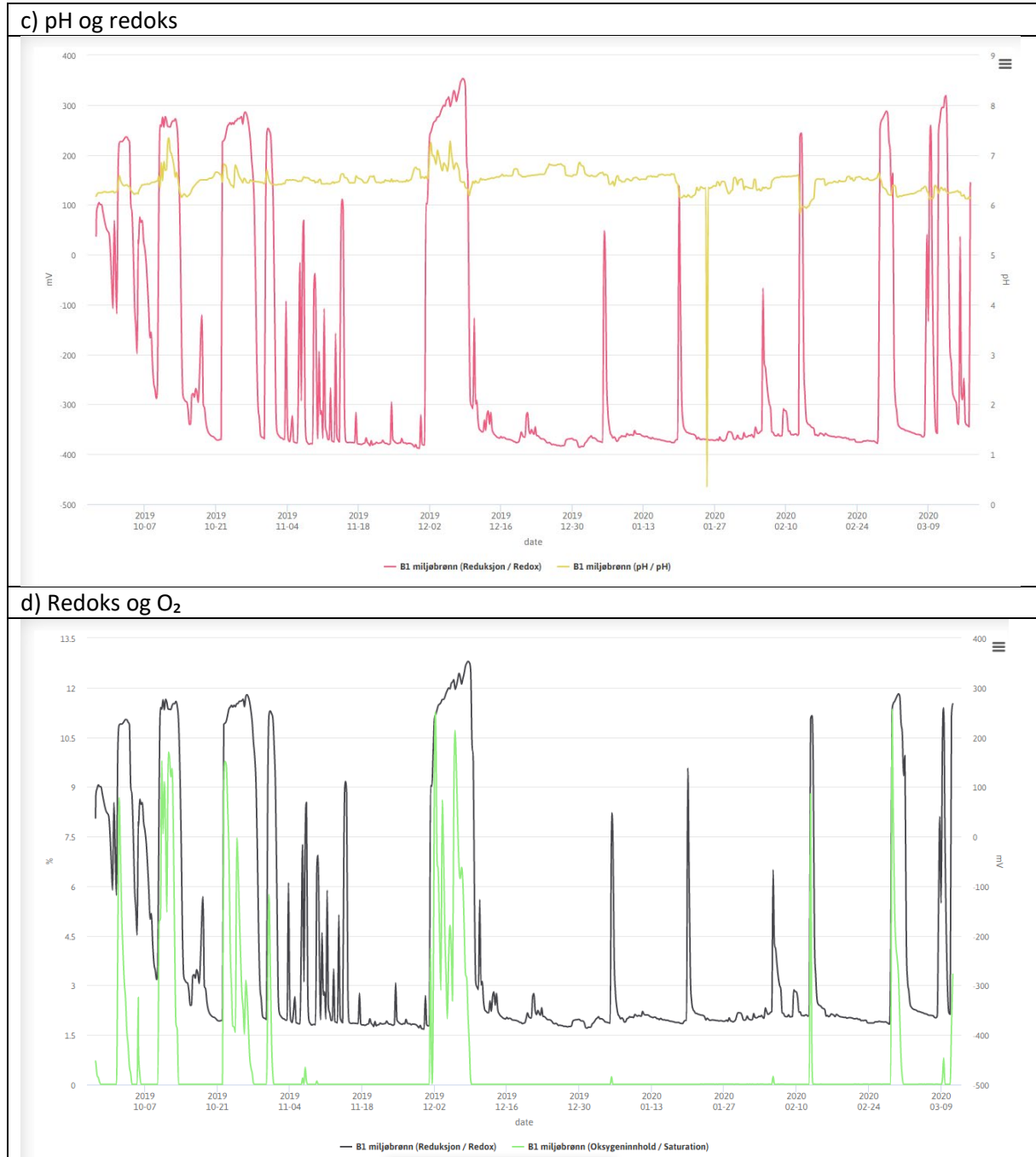
SOPS : NS 9451:2009

9 Oppdaterte sensordata - Bergen

9.1.1 B1

Figur 11 viser sensordata for miljøbrønn B1.

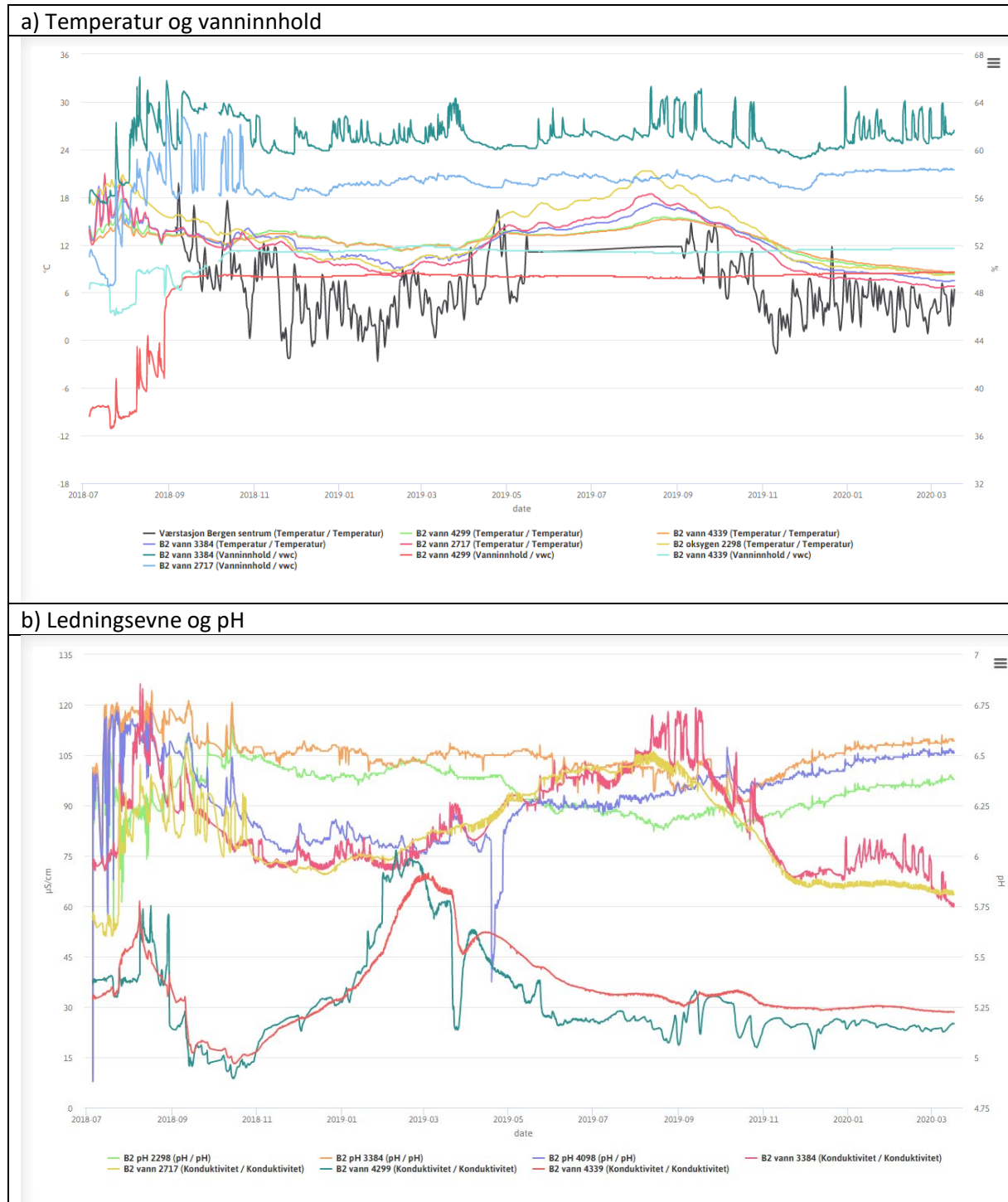


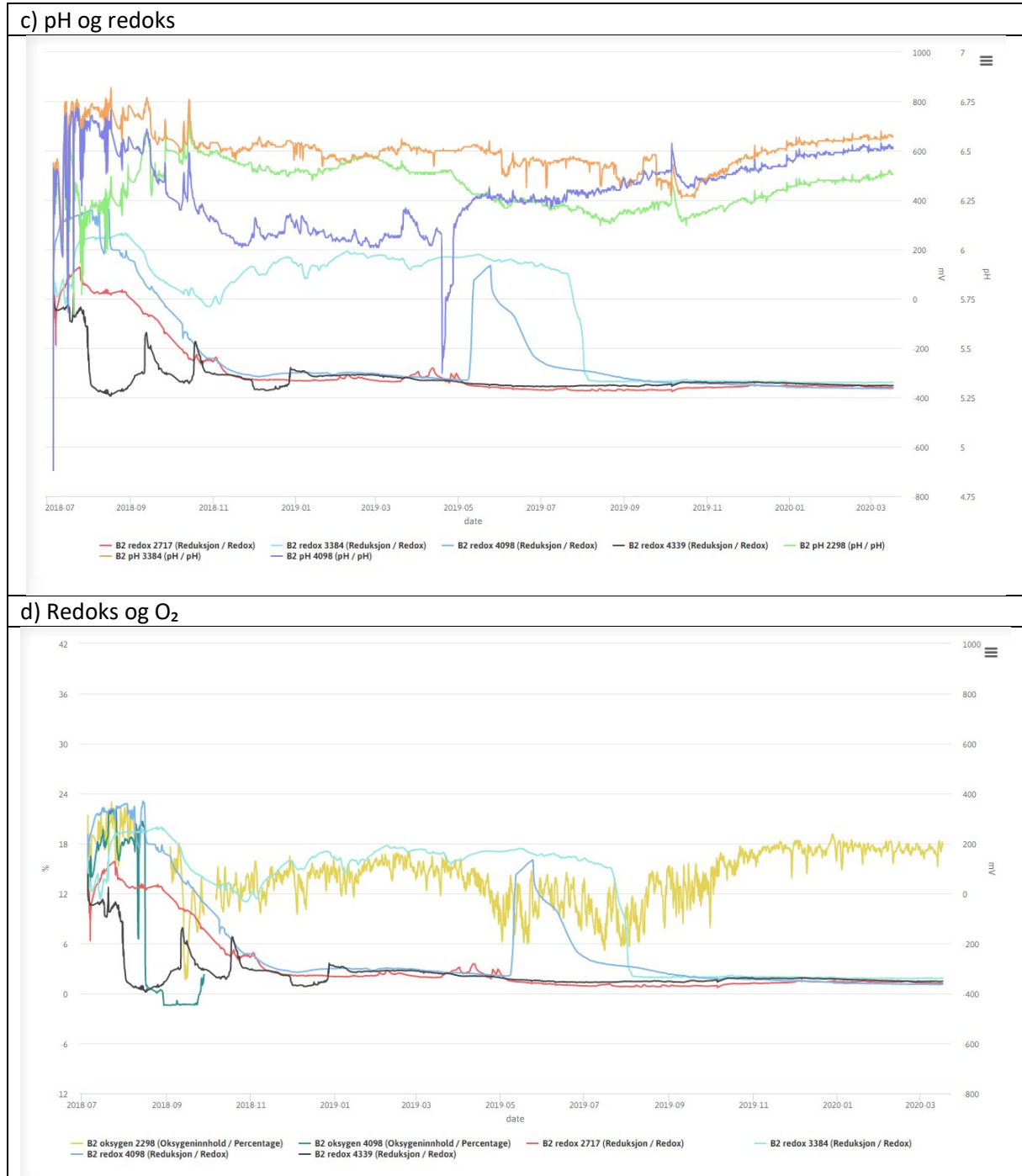


Figur 11. (a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) redoks og O₂ data fra miljøbrønn B1. Dataen er samlet i tidsperioden oktober 2019 til 10. mars 2020.

9.1.2 B2

Figur 12 viser sensordata for miljøprofil B2.

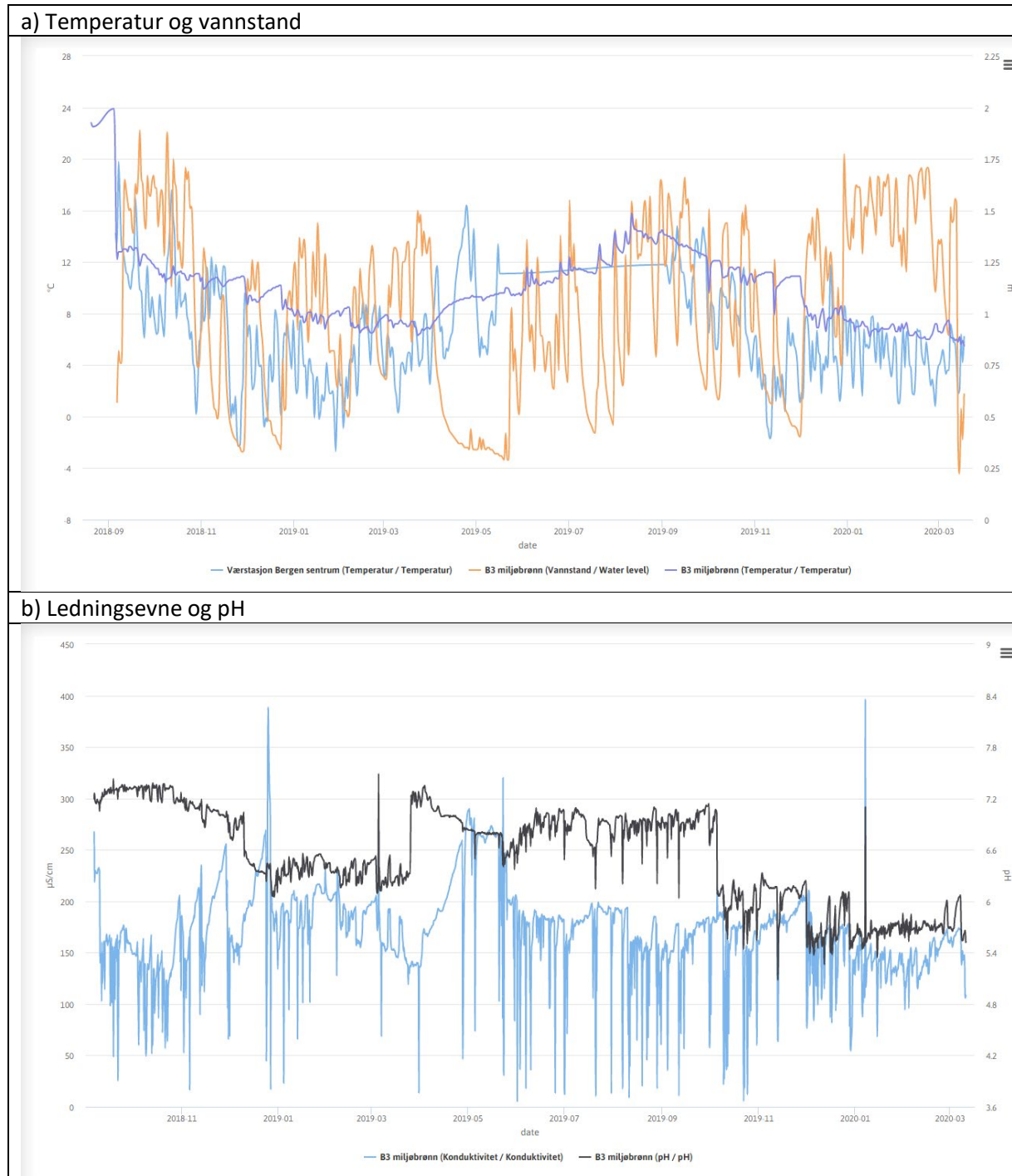


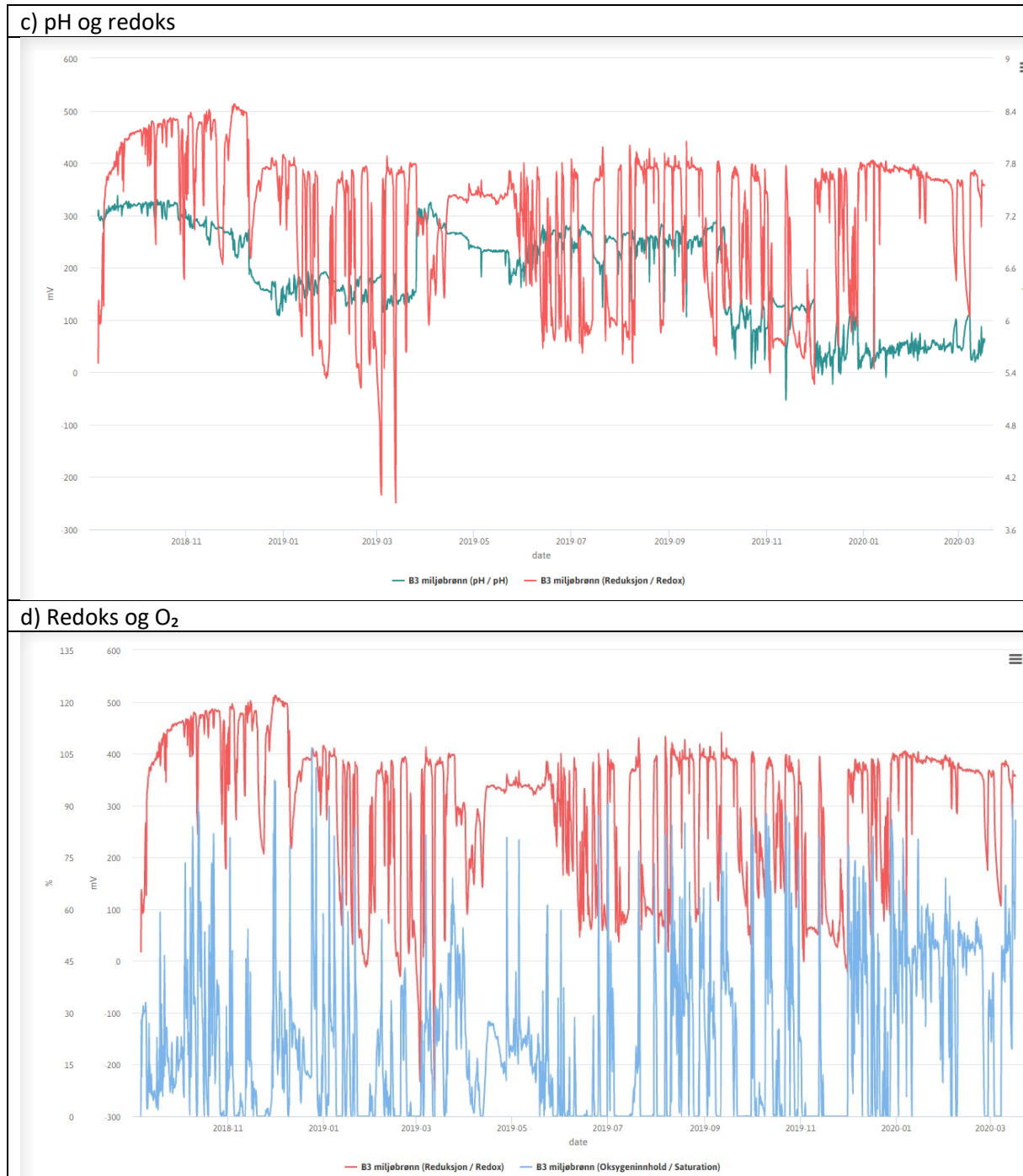


Figur 12. (a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) Redoks og O₂ data fra miljøprofil B2. Dataen er samlet i tidsperioden 5. juli 2018 til 10. mars 2020.

9.1.3 B3

Figur 13 viser sensordata for miljøbrønn B3.





Figur 13. (a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) Redoks og O₂ data fra miljøbrønn B3. Dataen er samlet i tidsperioden september 2018 til 10. mars 2020.

10 Vurdering av overvåkingsdata - Bergen

10.1 Miljøbrønn B1

Figur 11 viser sensordata for miljøbrønn B1. Temperaturen i brønnen viser godt samsvar med årstiden og den synkende temperaturen målt for værstasjonen i Bergen sentrum. Temperaturen har vært synkende etter installasjonen av målerne og har endret seg fra ca 13°C til ca 8°C. Vannstanden har vist en variasjon mellom 0,2 m og 0,7 m fra toppen av brønnen og har omtrent fulgt nedbørsmønsteret for værstasjonen i Bergen. Dette tyder på mye transport av vann under nedbørsperioder selv om området er asfaltert. Ved installasjonen av elektrodene ble vannstanden målt til ca 1,3 m, men dette skyldes trolig selve installasjonsarbeidet.

Oksygenkonsentrasjonen i brønnen har vært meget varierende, fra 0 til 11 % under hele måleperioden. Målingene viser lange perioder med ikke-målbare mengder oksygen noe som stemmer godt med reduktive forhold i grunnen. Redoks-verdiene har vist stor variasjon under måleperioden. I begynnelsen var variasjonen fra >300 mV og synkende ned mot -380 mV. Fra midten av desember og til mars viser målingene mer stabile reduktive forhold rundt -380 mV over flere dager, men det måles fremdeles spiker på >0 mV. Dette tyder på at det ikke er stabilitet i vannet. pH ligger relativt stabilt mellom 6 og 7 og de små variasjonene sammenfaller med variasjoner i ledningsevnen. Denne ustabiliteten kan skyldes inntrenging av regnvann i nedbørsperioder.

Jordprøvene som ble tatt i 2012 viste stort sett bra forhold mht. bevaring av organisk materiale. Det ble målt en god del sulfid og det var reduserende forhold i grunnen. Sensordata viser at de tre redoks-sensorene alle har stabilisert seg på et område der de reduserende forholdene er optimale for sulfidproduksjon. Bevaringstilstanden for organisk materiale vil derfor fremdeles være bra.

Forholdene for bevaring av uorganisk materiale var derimot variert mellom middels til elendig for jordprøvene som ble tatt i 2012 (Bergersen 2014).

Ledningsevnen var relativt høy i 2014, dvs. i området 2000 – 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sensordata viser varierende ledningsevne i området 0-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dette kan tyde på en lavere oppløsning av uorganisk materiale og dermed noe bedring i bevaringsforholdene for uorganisk materiale. Dette kan være en konsekvens av det lavere redokspotensialet som observeres. pH ble målt til å være lett surt i 2014 (4,3-7,0), og dette er også en tendens som har vedvart.

Det kan derfor konkluderes med at bevaringsforholdene stort sett er uendret.

10.2 Miljøprofil B2

Figur 12 viser sensordata for miljøprofil B2. Temperaturen har variert mellom ca 21°C og 8°C. De grunneste sensorene viser størst variasjon og følger variasjonen i overflatetemperatur som følge av årstidene. Det er ikke oppgitt temperaturer for værstasjonen i Bergen for sommeren. Den grunneste sensoren (2298 som befinner seg 4,103 moh) variere mellom 8,5°C og 21°C, mens den dypeste sensoren (4339 som er 2,220 moh) varierer mellom 12°C og 15°C. Vanninnholdet har vist en variasjon mellom 46-65%. De to dypeste sensorene (4339 og 4299) viser størst stabilitet i perioden fra november 2019 og til mars 2020. De grunnere sensorene (3384 og 2717) viser større variasjon og følger stort sett nedbørsmønsteret fra værstasjonen i Bergen.

Oksygenkonsentrasjonen i brønnen har vært meget varierende, fra 2 til 23 % under hele måleperioden. Fra høsten og utover har oksygennivået i sensor 2298 vært økende og har i begynnelsen av 2020 stabilisert seg rundt 16-18 %. Redoks-verdiene har vært varierende, men mye tyder på at alle sensorene stabiliserer seg inn mot reduktive forhold på rundt -350 mV mot slutten av måleperioden. Dette stemmer ikke helt med det relativt høye oksygeninnholdet målt i sensor 2298, men dette kan vært fordi oksygensensoren ligger grunnere og at forholdene der er mer oksidative.

pH har vært varierende i de tre sensorene siden oppstart i 2018. Sensor 4098 har hatt en økende pH det siste året, fra ca 6,0 til 6,5. Tilsvarende har sensor 3384 først hatt en synkende tendens for så å stige til ca 6,6. Sensor 2298 har fulgt samme kurve som sensor 3384 men ligger ca 0,25 lavere i pH. Ledningsevnen ser også ut til å stabilisere seg rundt henholdsvis 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for sensor 4339 og 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for sensor 4299.

Det har vært en sprekk i brønnlokket siden oppstarten. Lokket ble erstattet den 31. januar 2019. Integritet rundt toppen av brønnen har vært bra siden da.

Jordprøvene som ble tatt i 2018 viste ledningsevne i området 60-180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avhengig av dybden prøvene ble tatt. Sensordata viser en stabilisering i området 20-70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for de fire sensorene der sensorene som ligger dypest viser de laveste måleverdiene. Dette tyder på at det er relativt liten utløsning av uorganiske forbindelser enten fra uorganisk arkeologisk materiale eller fra selve geologien i området. pH som ble målt i jordprøvene var stort sett på basisk side av pH-skalaen, dvs. mellom 7 og 8. Sensordata er mer på den sure siden, noe som kan reflektere tilstedeværelsen mindre innsig av overvann. Dette samsvarer også med de reduktive forholdene som vises i redoks-målingene.

Det kan derfor konkluderes med at bevaringsforholdene stort sett er uendret.

10.3 Miljøbrønn B3

Figur 13 viser sensordata for miljøbrønn B3. Temperaturen har variert mellom 7°C og 16°C og følger stort sett variasjonen av overflatetemperatur målt på værstasjonen til Bergen sentrum.

Vannstanden har vist en variasjon mellom 0,3 og 1,8 m fra toppen av brønnen og har omtrent fulgt nedbørsmønsteret for værstasjonen i Bergen, dvs. det er et visst innsig av overvann.

Oksygenkonsentrasjonen i brønnen har vært meget varierende, fra 0 til 100 % under hele måleperioden. Tilsvarende stor variasjon sees i redoks-målingene. Målingene viser stort sett oksidative forhold. Den store variasjonen i både oksygen- og redoks-målinger viser at det er ingen stabilitet i vannet.

pH-målingene viser også en synkende tendens over måleperioden fra ca 7,4 til 5,6. Dette kan bety en forsurening av miljøet pga. sulfat som omdannes til sulfid under reduktive forhold eventuell annen utløsning av materiale fra geologien i området. Ledningsevnen viser også store variasjoner med ytterpunkter på 10 til 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Etter installasjonen av sensorene og ferdigstilling av brønnen, ble det oppdaget en sprekk i brønnlokket på B3. Dette medførte økt inntrengning av oksygen i brønnen og påvirket både O_2 og RedOks målinger. Et nytt brønnlokk ble installert den 31. januar 2019. Integritet rundt toppen av brønnen har vært bra siden da. Det er variasjoner i dataen, men det vises hovedsakelig oksidative forhold i brønnen.

Da jordprøvene ble tatt og analysert i 2018, ble det konkludert at bevaringen av organisk materiale kunne betegnes som bra. Basert på de ustabile målingene som er gjort med sensorene, kan det tyde på inntrenging av oksygen og at bevaringsforholdene ikke er optimale.

11 Grunnboring for miljøovervåkingspunkt T01 i Tønsberg

Middelalderbyen Tønsberg (id 10570) med Slottsfjellet omfatter ca. 44 hektar (441177,50 m²), og området på Teie (id 88462) omfatter ca. 4 hektar. De middelalderske kulturlagene innenfor id 10570 utgjør i dag omtrent 17 hektar av en opprinnelig registrert utstrekning på ca. 23,5 hektar. På Teie er utstrekningen av kulturlaget ikke kjent (det finnes ingen opplysninger om dette i Askeladden).

Kulturlagene varierer i tykkelse fra 0,5 m til 4 - 5 m. De middelalderske kulturlagene ligger i både mettet, umettet og i fluktuasjonssonen. Bevaringsforholdene er varierende, og bevaringstilstanden er lite undersøkt. Vi har for lite kunnskap om grunnvannet i Tønsberg, men det antas å synke. Det er bakgrunnen for dette prosjektet.

Første installasjon av overvåkingsutstyr i Tønsberg som del av det store byovervåkingsprosjektet MABYMOV var planlagt utført senhøsten 2019. Det var planlagt boring for og installasjon av en miljøbrønn med installert multisensor koblet til datalogger i Møllegaten, Tønsberg, omtrent midt mellom Storgaten og Øvre Langgate. Borearbeidet ble utført 6. januar 2020. Dessverre viste det seg at det ikke var noen kontakt mellom kulturlag og grunnvann på det aktuelle stedet, og det ville være forgjeves å installere en miljøbrønn. Det ble derfor utelukkende gjennomført prøveuttaking og tilstands- og bevaringsanalyser.

11.1 Arkeologiske, historiske og topografiske opplysninger -Tønsberg

Undersøkellesområdet ligger innenfor det automatiske fredede kulturminnet Middelalderbyen Tønsberg, Askeladden ID-nummer 10570, omtrent midt i middelalderbyen (se Figur 14).

Området har trolig vært preget av sekulær bebyggelse, og det har i forbindelse med tidligere utgravningene blitt avdekket, foruten kulturlag og gjenstandsfunn, bryggekar, bygninger, trelagte passasjer, flettverksgjerdet og en brønn datert til høymiddelalder.

I Møllegaten 3B ble det i 2011 gravd fire grøfter i forbindelse med utskifting av vann og avløp ved nedleggelsen av fjernvarme. I grøftene ble det fra 0,5 meters dybde registrert etter-reformatoriske kulturlag, og hvor de automatisk fredede lag ble observert ca. 1–1,3 meter under dagens overflate. Det ble også avdekket trestokker og planker på 1,75–2,3 meters dybde, tolket som mulige bygninger og/eller trelagte passasjer.

I forbindelse med fjernvarmen samme år ble det gravd en stikkledningsgrøft langs Møllegatens sørøstre kant ved Møllegaten 1. I gaten ble det påtruffet kulturlag og bygningsrester fra og med 0,5 meters dybde. De øvre nivåene ble tolket som tidlig etter-reformatoriske og ble datert til 1500-1600-tallet. Automatisk fredede kulturminner ble avdekket fra 0,65–1 meter under dagens overflate. I likhet med funn fra de ovenfor nevnte undersøkelsene, bestod kulturminnene av bygningsrester, kulturlag og brannpåvirkede masser.

Det kunne derfor, basert på observasjoner ved tidligere undersøkelse, forventes å finne tykke kulturlag i det aktuelle undersøkelsesområdet. Det viste seg dog å forholde seg annerledes.

11.2 Naverboring i Møllegaten: observasjoner

Det henvises til kapittel 12 Dokumentasjon Tønsberg for bilder av gjennomføring av feltarbeid. Det henvises til kapittel 16.3 for bilder og tegning av borelengder, samt fotoliste.

11.2.1 Grunnboring TO1 (NIKU betegnelse 1021141 TO1)

Borepunktet lå i Møllegaten 4, midt mellom Storgaten og Øvre Langgate (se Figur 14). Brønnen ble boret den 6. januar 2020. Det ble tatt prøver av NIKU i forbindelse med boringen av brønnen.



Figur 14: Plassering av borepunkt TO1. (Kart: NIKU).

12 Dokumentasjon Tønsberg

Borearbeidet ble utført av brønnborefirma Brødrene Myhre AS, med arkeologer fra NIKU distriktskontor Oslo, Line Hovd og Vibeke Vandrup Martens, som ansvarlige for det arkeologiske registreringsarbeidet ved gjennomføringen av boringen og installering av brønn og utstyr. Arkeolog var også ansvarlig for uttak av jordprøvene til geokjemisk analyse.

Fra Cautus Geo AS deltok Mike Voellmecke, som skulle installere sensorene i miljøbrønnen og sette opp loggerskapet. Voellmecke skulle også ta imot prøver. Prøvene ble av Cautus Geo levert til Eurofins for analyse samme dag.

Innmåling av borepunkt TO1 ble utført av NIKU ved Lars Haugesten fra NIKU distriktskontor Tønsberg. Forkortelsen «moh» står for «meter over havet» (med utgangspunkt i referansesystemet NN2000).

Det viste seg i planleggingsfasen av prosjektet å være svært komplisert med kabelpåvisning i den aktuelle delen av Møllegaten, da det i tillegg til kabler i dette området også var en mengde ikke-kartlagte oljetanker. COWI var i tett dialog med kommunen, og valgte til slutt ut et areal utenfor Møllegaten 4 der det ville være mulig å bore trygt, og hvor det var mulig å sette ned en kum som skulle sikre adgang til brønnen og til oppbevaring av dataloggeren. Kummen ble forhåndsinstallert, slik at boring og påkobling av datalogger kunne utføres så effektivt som mulig (se Figur 15).



Figur 15: Bilder fra feltarbeidet før oppstart av boringen av miljøbrønn TO1. Tv.: Forhåndsinstallert kum. Th.: Boreriggen klargjøres.

Boreriggen hadde naverbor med diameter på 10 cm. Løse masser/grus fra etableringen av kummen ble gravd ut fra kumringen for hånd av arkeolog, før boringen startet ca. 40 cm under overflaten fra dagens fortau. Boring ble deretter gjennomført metervis. Boret ble løftet uten skruing, og masser på boret ble rensket frem av arkeologene og dokumentert med foto og tegning. Arkeologene gransket

lengdene tatt opp med naverboret fortløpende og registrerte jordlagssekvensene i henhold til Norsk Standard 9451:2009 (Standard Norge 2009).

Det ble tatt ut to jordprøver fra de arkeologiske kulturlagene til analyse S1 + S2, i henhold til Norsk Standard 9451:2009 (Standard Norge 2009). De aktuelle lagene prøvene er tatt fra er beskrevet i skjemaet «Tabell borepunkt TO1: Lagbeskrivelser og tolkning».

Det viste seg relativt raskt da boringen av miljøbrønnen var påstartet at det ikke var grunnvann i kontakt med kulturlagene i dette området. I dialog mellom NIKU, Cautus Geo og COWI, ble det derfor vedtatt at man skulle fortsette boringen, men i stedet for miljøbrønn med multisensor i stedet installere en enkel piezometerbrønn med sensor for måling av grunnvannstand.



Figur 16: Bilder fra felt ved boring av miljøbrønn TO1. Tv.: Rensing av bor. Th.: Siste borelengde ved påtruffet grunnfjell.

Boringen ble fullført til grunnfjell, men det viste seg imidlertid at det heller ikke var mulig å installere piezometerbrønn, da grunnvann først ble påtruffet de siste to centimeterne over grunnfjell (se Figur 16). Borehullet ble derfor fylt igjen med de oppgravde massene, og kumlokk lagt tilbake. Kummen vil kunne tas opp og brukes annetsteds, og fortauet kan reetableres.

På grunn av de svært kompliserte kabel- og oljetanksforhold i den aktuelle strekningen av Møllegaten, ser vi det som urealistisk å etablere overvåkingspunktet TO1. Utstyret som var planlagt brukt i overvåkingspunkt TO1 vil bli benyttet i et annet overvåkingspunkt i Tønsberg, enten TO-2 eller TO-3.

12.1 Resultater fra det arkeologiske feltarbeidet

12.2 Naverboringen: observasjoner

Det henvises til kapittel 16.3 for bilder og tegning av borelengdene.

12.2.1 Borepunkt TO1 (NIKU betegnelse 1021141 TO1)

Borepunktet lå i fortauet ved Møllegaten 4. Punktets koordinater var N6570769,50/Ø580179,21, og dagens overflate lå ca. 12,047 moh (topp av kum).

Tabell 12. Borepunkt TO1. Lagbeskrivelser og tolkning

Lag	Beskrivelse	Moh	Prøver/funn	Antatt datering	Tolkning
1	Stabilgrus. 20 cm tykt.	11.547		Moderne	Underlag for vei
2	Rødbrun sand/grus. 42 cm tykt.	11.447		Moderne	Underlag for vei
3	Mørk gråbrun leirholdig silt (plastisk) blandet med en mindre andel grus og sand. Organisk innhold (50%) av humus, med noe kull og treflis (et fragment av fisk). Funn av keramikk og bly. 88 cm tykt.	11.027	Jordkjemisk prøve S1+S2. Blyfragment F1. Brent bein F2.	Middelalder	Aktivitetsslag?
4	Mellombrun grusholdig sand. Mindre organisk innhold (4%) bestående av humus og noe kull. Enkelte biter med tegl. 20 cm tykt.	10.147		Middelalder	Oppfyllingslag?
5	Mørk brun leire og silt, plastisk, iblandet noe grus og sand. Organisk innhold av humus og noe kull (29%). 20 cm tykt.	9.947	Jordkjemisk prøve S1+S2.	Middelalder	Oppfyllingslag?
6	Gulgrå kompakt leirholdig silt med noe grus. 35 cm tykt.	9.747			Overgang til naturlig undergrunn?
7	Grå leire med noe silt. 3,55 m tykt.	9.397			Naturlig undergrunn
8	Grunnfjell.	5.847			Naturlig undergrunn

12.3 Arkeologisk vurdering av bevaringstilstand for borepunkt TO1

Den arkeologiske tilstandsvurderingen av kulturlagene i borepunktet ble gjennomført i henhold til Norsk Standard 9451:2009 av Vibeke Vandrup Martens og Line Hovd (NIKU). Tabellen under viser innhold, tolkning og bevaringstilstanden (SOPS) som ble tildelt de enkelte kulturlagene.

TO1 viste kulturlag i ca. 1,28 meters dybde målt fra overflaten og ned til naturlig undergrunn (se Tabell 12 og 13). Naturlig undergrunn bestod av fuktig siltholdig leire. Intakte kulturlag fra middelalder ble registrert fra og med kulturlag ca. 1,02 meter under dagens overflate (ca. 11,02 moh). Lagene under dagens overflate og ned til 1,02 meters dybde antas å være fra moderne og nyere tid. Disse lagene bestod av utfylling/utjevningssmasse og de var tørre og dominert av minerogent materiale. Fra ca. 1,02 meters dybde og ned til naturlig undergrunn var kulturlagene

komprimert og fuktig. Det var stadig høyt innhold av minerogent materiale, men med en høyere andel organisk materiale. Lagsekvensene viste spor etter mulig aktivitet og oppfylling/utjevning av området i middelalder (se Tabell 12 for lagbeskrivelse og tolkning). Det ble foretatt vurdering av kulturlagenes tilstand på samtlige lag i borepunktet/miljøbrønnen (se Tabell 13). Kulturlagene i dybde fra ca. 1,02–2,3 m / 11,02–9,74 moh (lag 3–5) har best vurderte tilstand, alle «A3 - middels».

Tabell 13: Borepunkt TO1. Tilstandsvurdering av kulturlagene.

Lag	Lagets innhold% Botanisk/zoologisk/mineralsk/gjenstander	Tolkning	Datering	Moh	Jordkjemiske prøvenavn	Bevaring (SOPS ¹)
1	0/0/100/0 % -/-/stabilgrus/-	Vei, stabilisering	Moderne			A0
2	0/0/100/0 % -/-/sand, grus/-	Vei, stabilisering	Moderne			A0
3	50/1/47/2 % Humus, treflis, kull/fiskebein/silt, leire, sand, grus/brent bein, bly	Aktivitet	Middelalder	11.027	Prøve 1	A3
4	4/0/95/1 % Humus, kull/-/sand, grus, silt/tegl	Oppfylling	Middelalder			A3
5	29/1/70/0 % Humus, kull/fuglebein/leire, silt, sand, grus/-	Oppfylling	Middelalder	9.947	Prøve 2	A3
6	0/0/100/0 % -/-/leire, silt, grus/-	Natur?				A0
7	0/0/100/0 % -/-/leire, silt/-	Natur				A0
8	0/0/100/0 % -/-/grunnfjell/-	Natur				A0

13 Resultater av jordkjemiske analyser - Tønsberg

13.1 Resultater fra TO1

Det ble tatt ut to prøver under boring av brønnen, begge over grunnvannsnivå. Analyseresultatene er vist i Tabell 14. Resultatene fra analysene viste svært lav ledningsevne for begge prøvene. Det ble ikke detektert toverdig jern (Fe^{2+}) i noen av prøvene. Derimot ble det påvist tilstedeværelse av jern i andre former. Dette kan være jern som er i bundet form, enten fra arkeologisk materiale eller fra selve geologien i området, eller jern som tidligere er oksidert til Fe^{3+} .

Det er middels innhold av både organisk stoff og vann i prøvene. Den dypeste prøven inneholdt mest nitrat (NO_3-N), mens den grunneste inneholdt mest ammonium (NH_4-N). Sulfidinnholdet tyder på at det øverste laget har vært eksponert for oksygen. Dette gjelder ikke det nederste laget, der sulfid er til stede i prøven. Sulfidnivået er relativt lavt (43 mg/kg), men illustrerer stabile reduktive forhold med lite inntrengning av oksygen og det kan forventes at det er lavt redoksnivå. Tilstedeværelsen av

¹ SOPS state of preservation scale NS9451:2009

både oksygen, fuktighet, sulfat og andre næringsmidler gir gode forhold for eventuelle mikroorganismer som er til stede.

Begge prøvene besto utelukkende av partikler <5 mm. Siden det organiske innholdet i prøvene er middels til lavt, er det mest sannsynlig at partiklene < 5mm stammer fra sand og jord og ikke kun fra nedbrutt organisk materiale i kulturlagene. Basert på dette kan bevaring av organisk materiale betegnes som middels bra i de dypeste lagene. Prøven som var tatt av det grunneste laget, viste tydelig oksidativ påvirkning.

Tabell 14. Analyseresultater for jordprøvene tatt fra TO1 miljøprofil.

Prøve (moh)	pH	Ledningsevne (µS/cm)	NH ₄ -N (mg/kg TS)	NO ₃ -N (mg/kg TS)	SO ₄ (mg/kg TS)	Total S ²⁻ (mg/kg TS)	Fe ²⁺ (% TS)	Tot-Fe (mg/kg TS)	Fraksjon <5mm (% w/w)	Tørrestoff (%)	Glødetap (% TS)
TO1 Lag 3 (11,027)	6,9	41	7,7	1,6	32	< 5,0	< 0,0001	13000	100	55,7	12,8
TO1 Lag 5 (9,947)	6,5	38	2,9	11	85	43	< 0,0001	12000	100	62,3	10,3





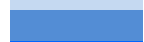

Tabell 15. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra TO1 basert på NS 9451:2009.

Prøve	MOH (m)	Organisk innhold (%)	Vanninnhold (%)	pH	Ledningsevne µS/cm	Bevering			
						Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks tilstand	Arkeologisk tilstand*
TO1 Lag 3	11,027	12,8	44,3	6,9	41	Dårlig	Dårlig	Oksidativ	A3
TO1 Lag 5	9,947	10,3	37,7	6,5	38	Middels	Dårlig	Reduktiv	A3


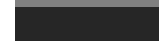
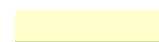

* prøveMOH ikke målt (lag 2,60-2,45)

** Ingen sulfidanalyser av prøven

*** Svært lav sulfid

	Lavt organisk innhold 10%
	Middels organisk innhold 10-20%
	Høyt organisk innhold >30%
	Lavt vanninnhold 10-20%
	Middels vanninnhold 30-40%
	Høyt vanninnhold > 50%

*

	Elendig til dårlig
	Middels
	Bra til utmerket
	Oksidativ
	Reduktiv

SOPS: NS 9451:2009

14 Miljøovervåkingsundersøkelsene i Bergen og Tønsberg: konklusjoner

14.1 Bergen

Det er nå installert overvåkingsutstyr tre steder i Bergen; to miljøbrønner (B1 og B3) og en miljøprofil (B2). Sensordata fra alle tre brønnene tyder på en stabilisering av forholdene etter de ytre påvirkningene fra installasjonene. For miljøbrønn B3 kan ustabile målinger tyde på innsig av oksygen og at bevaringsforholdene ikke er optimale.

Oksygenkonsentrasjonen i **B1** har vært meget varierende i hele måleperioden. Målingene viser lange perioder med ikke-målbare mengder oksygen noe som stemmer godt med reduktive forhold i grunnen. Redoks-verdiene har vist stor variasjon under måleperioden. I begynnelsen var variasjonen fra >300 mV og synkende ned mot -380 mV. Fra midten av desember 2019 og til mars 2020 viser målingene mer stabile reduktive forhold rundt -380 mV over flere dager, men det måles fremdeles spiker på >0 mV. Dette tyder på at det ikke er stabilitet i vannet. pH ligger relativt stabilt mellom 6 og 7 og de små variasjonene sammenfaller med variasjoner i ledningsevnen. Denne ustabiliteten kan skyldes inntrenging av regnvann i nedbørsperioder.

Data fra jordprøvene og fra sensorene i overvåkingspunkt **B2** viser at profilen er rimelig stabil. De fleste RedOks målinger viser gode negative verdier som indikerer bra bevaringsforhold for kulturlagene. Sensor 3384 viser muligens noe mer dynamisk forhold med positive RedOks verdier og flere endringer i vanninnholdet. Etter diskusjoner mellom COWI og Cautus konkluderes med at det sannsynligvis er økt vanninntrengning i kulturlaget som er årsaken til endringer i dataene fra kontekst 3384. Dette er muligens forårsaket av sprekker i leirdekket, som kan ha oppstått fordi ikke alle profilvegger i sjakten er dekket med leire. Dette er med på å understreke viktigheten i å gjennomføre dette relativt enkle avbøtende tiltak.

Miljøbrønn **B3** viser meget varierende verdier. Det var opprinnelig mistenkt at dette hovedsakelig skyldtes en sprekke i brønnlokket. Brønnlokket ble erstattet, men det er ennå en del variasjon i verdiene. Dette må skyldes tilsig av vann fra andre områder mot brønnen.

Analyser av jordprøver fra B3 viser betydelige mengder jern, men at Fe^{2+} var under deteksjonsgrensen. Dette i tillegg til analyser av sulfid i prøvene viser negative RedOks forhold i jordtypene og dette indikerer også gode bevaringsforhold for kulturlagene, akkurat som i B2. I fire av prøvene ble det observert at store deler av jordfraksjonen hadde partikkelstørrelse < 5 mm, men organisk innhold var lavt. Dette indikerer at de fleste partikler < 5mm kommer fra sand / jordsmonn og ikke fra direkte nedbrytning av organisk innhold i lagene.

Det ser ut som om overvåkingspunkt B1 har ustabile bevaringsforhold, mens overvåkingspunkter B2 og B3 ligger ganske stabilt in situ, særlig B3, men det blir interessant å følge med på overvåkingen videre. Det er ikke vurdert avbøtende tiltak.

14.2 Tønsberg

Det ble gjort forsøk på å installere brønnen **TO1** i Tønsberg, men da det ikke var mettet sone over grunnfjell, ble dette ikke gjort. Det ble tatt ut jordprøver som viste middels bevaringstilstand, dårlige til middels bevaringsforhold for organiske gjenstander og dårlige bevaringsforhold for uorganiske materialer i borehullet. Det er ikke vurdert avbøtende tiltak.

15 Referanser

Bergersen, O. 2014. Geokjemisk kartlegging av kulturlag fra nye miljøbrønner etablert i Skostredet (VMB01) og Vågsallmenningen (VMB02), Bergen. **Bioforsk rapport** Vol 9 Nr. 41, 2014, Ås. 26s.

Dunlop, A. R. 2013. Vågsbunnen, Bergen. Rapport om arkeologisk undersøkelse av to naverboringer, 2012. **NIKU Oppdragsrapport** 64/2013, Bergen. 22s.

Madigan, M. T. & Martinko J. M. Brock. (2006). **Biology of Microorganisms** 11. Ed. Pearson Prentice Hall, USA.

Martens, V.V., Dunlop, A.R., Dinning, A.J. og Voellmecke, M. (2019): Oppstartsrapport MABYMOV. Miljøprofil B2 og miljøbrønn B3. Kong Oscars Gate og Nedre Hamburgersmauet, Vågsbunnen, Bergen. Rapport utarbeidet av NIKU, Cautus Geo og COWI. **NIKU-rapport** 96, Oslo. 52s.

Standard Norge 2009. Kulturminner. Krav til miljøovervåking og -undersøkelse av kulturlag. **Norsk Standard** NS9451:2009. ICS 13.020.99: 91.010.99.

16 Dokumentasjon (NIKU)

- Dokumentasjonen er arkivert i Intrasys-prosjektet Bybasen for Bergen og Bybasen for Tønsberg
- Den omfatter 8 digitalbilder fra B2 (mobilkamera); 12 digitalbilder fra B3 (lastet inn i MUSIT sin Fotobase, både JPG- og RAW-format); 19 digitalbilder fra TO1 (lastet inn i MUSIT sin Fotobase)
- Opplysninger om dateringsprøver er arkivert i MUSIT sin Gjenstandsbase, Bergen Museum

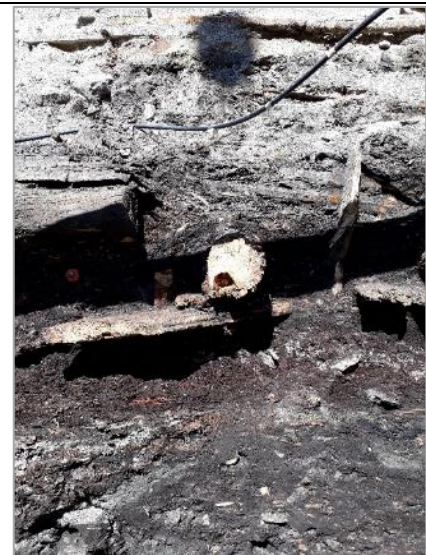
16.1 Fotoliste B2

Filnavn	Motiv	opptaksdato	Sett mot	fotograf	Strukturnr/objektnr
20180704_130548	B2 profil N 4314	04.07.2018	N	Vibeke Vandrup Martens	-
20180704_130556	B2 profil N 4314	04.07.2018	NV	Vibeke Vandrup Martens	-
20180705_131952	B2 profil N 4314	05.07.2018	N	Vibeke Vandrup Martens	-
20180705_132006	B2 profil N 4314	05.07.2018	N	Vibeke Vandrup Martens	-
20180705_132753	Arbeidsbilde Maiken	05.07.2018	N	Vibeke Vandrup Martens	-
20180705_133847	B2 profil N 4314	05.07.2018	NV	Vibeke Vandrup Martens	-
20180705_133859	B2 profil N 4314	05.07.2018	V	Vibeke Vandrup Martens	-
20180718_IMG_0266	B2 profil N 4314 dekket med leire	18.07.2018	NV	Per Christian Underhaug	-

Profil B-2 foto



20180704_130548



20180704_130556



20180705_131952



20180705_132006



20180705_133847



20180705_132753



20180718_IMG_0266



20180705_133859

16.2 Fotoliste B3

Filnavn	Motiv	Opptaksdato	Sett mot	Fotograf	Strukturnr/Objektnr
Bf30035_NIKU_0001.JPG	Borepunkt B-3: situasjonsbilde.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0002.JPG	Borepunkt B-3: lengden 3,80-2,80 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0003.JPG	Borepunkt B-3: lengden 3,80-3,25 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0004.JPG	Borepunkt B-3: lengden 3,35-2,80 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0005.JPG	Borepunkt B-3: lengden 2,80-2,30 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0006.JPG	Borepunkt B-3: lengden 2,30-1,80 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0007.JPG	Borepunkt B-3: lengden 2,80-1,80 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0008.JPG	Borepunkt B-3: lengden 1,80-0,80 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0009.JPG	Borepunkt B-3: lengden 1,80-1,30 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0010.JPG	Borepunkt B-3: lengden 1,30-0,80 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0011.JPG	Borepunkt B-3: arbeidsbilde	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-
Bf30035_NIKU_0012.JPG	Borepunkt B-3: lengden 0,80 til -0,20 moh.	06.09.2018	ikke aktuelt	Rory Dunlop	-

Borepunkt 1021141 B-3 foto





Bf30035_NIKU_0006



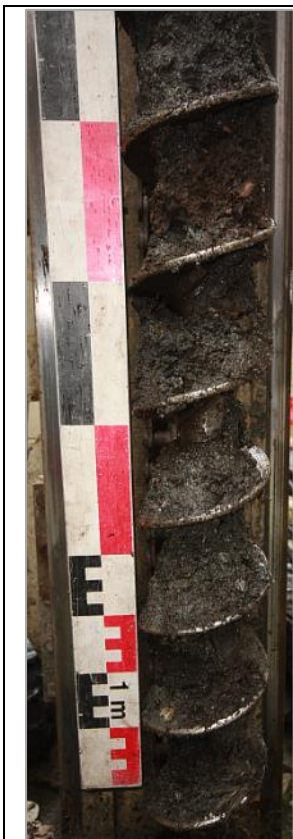
Bf30035_NIKU_0007



Bf30035_NIKU_0008



Bf30035_NIKU_0009



Bf30035_NIKU_0010

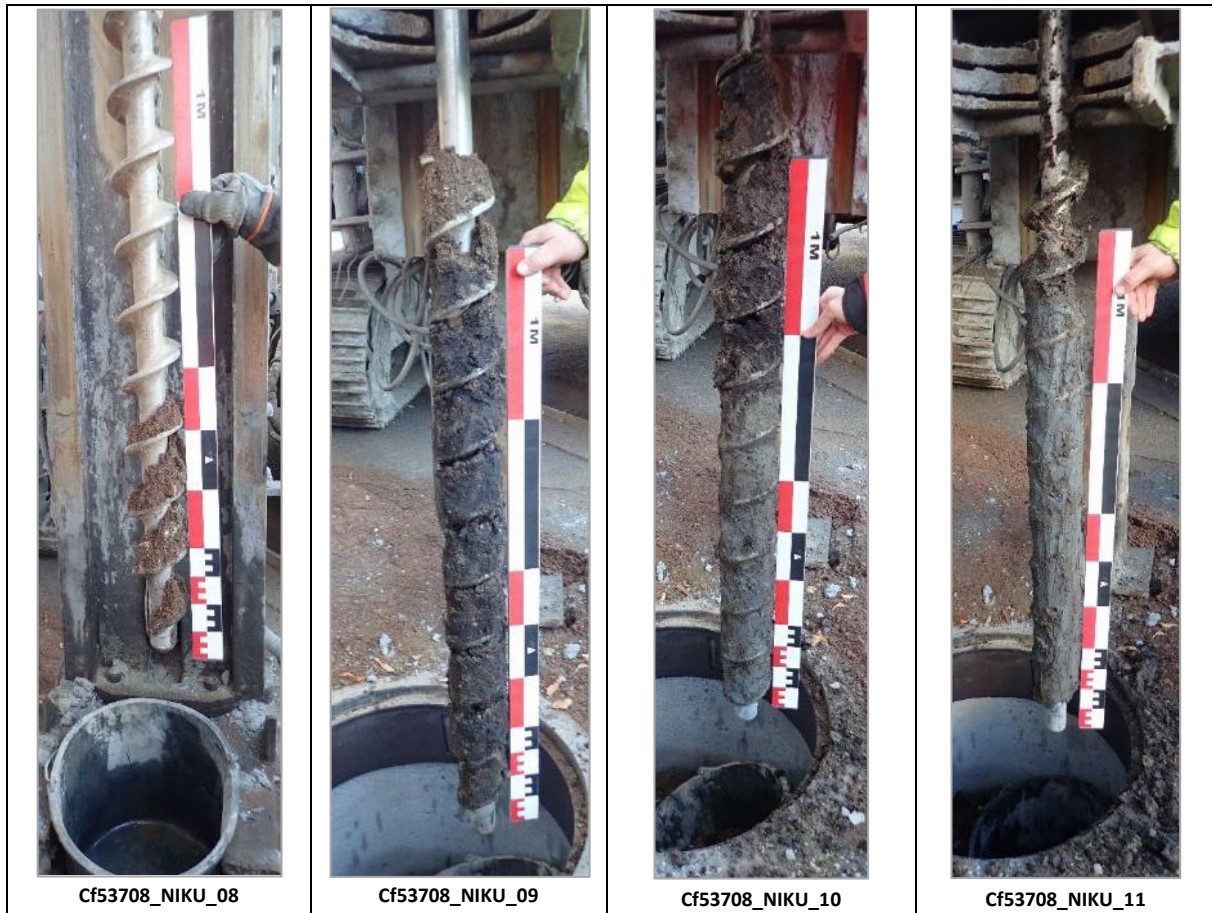


Bf30035_NIKU_0012

16.3 Fotoliste TO1

Filnavn	Motiv	Sett mot	Fotograf	Strukturnr.	Opptaksdato
Cf53708_NIKU_08.JPG	TO1, m 1, 12,04–11,04 moh.	Ikke relevant	Vibeke Vandrup Martens	-	06.01.2020
Cf53708_NIKU_09.JPG	TO1, m 2, 11,04–10,04 moh.	Ikke relevant	Vibeke Vandrup Martens	-	06.01.2020
Cf53708_NIKU_10.JPG	TO1, m 3, 10,04–9,04 moh.	Ikke relevant	Vibeke Vandrup Martens	-	06.01.2020
Cf53708_NIKU_11.JPG	TO1, m 4, 9,04–8,04 moh.	Ikke relevant	Vibeke Vandrup Martens	-	06.01.2020
Cf53708_NIKU_15.JPG	TO1, m 5, 8,04–7,04 moh.	Ikke relevant	Vibeke Vandrup Martens	-	06.01.2020
Cf53708_NIKU_16.JPG	TO1, m 6, 7,04–6,04 moh.	Ikke relevant	Vibeke Vandrup Martens	-	06.01.2020
Cf53708_NIKU_19.JPG	TO1, m 7, 6,04–5,84 moh.	Ikke relevant	Vibeke Vandrup Martens	-	06.01.2020

Borepunkt 1021141 TO1 foto





Cf53708_NIKU_15



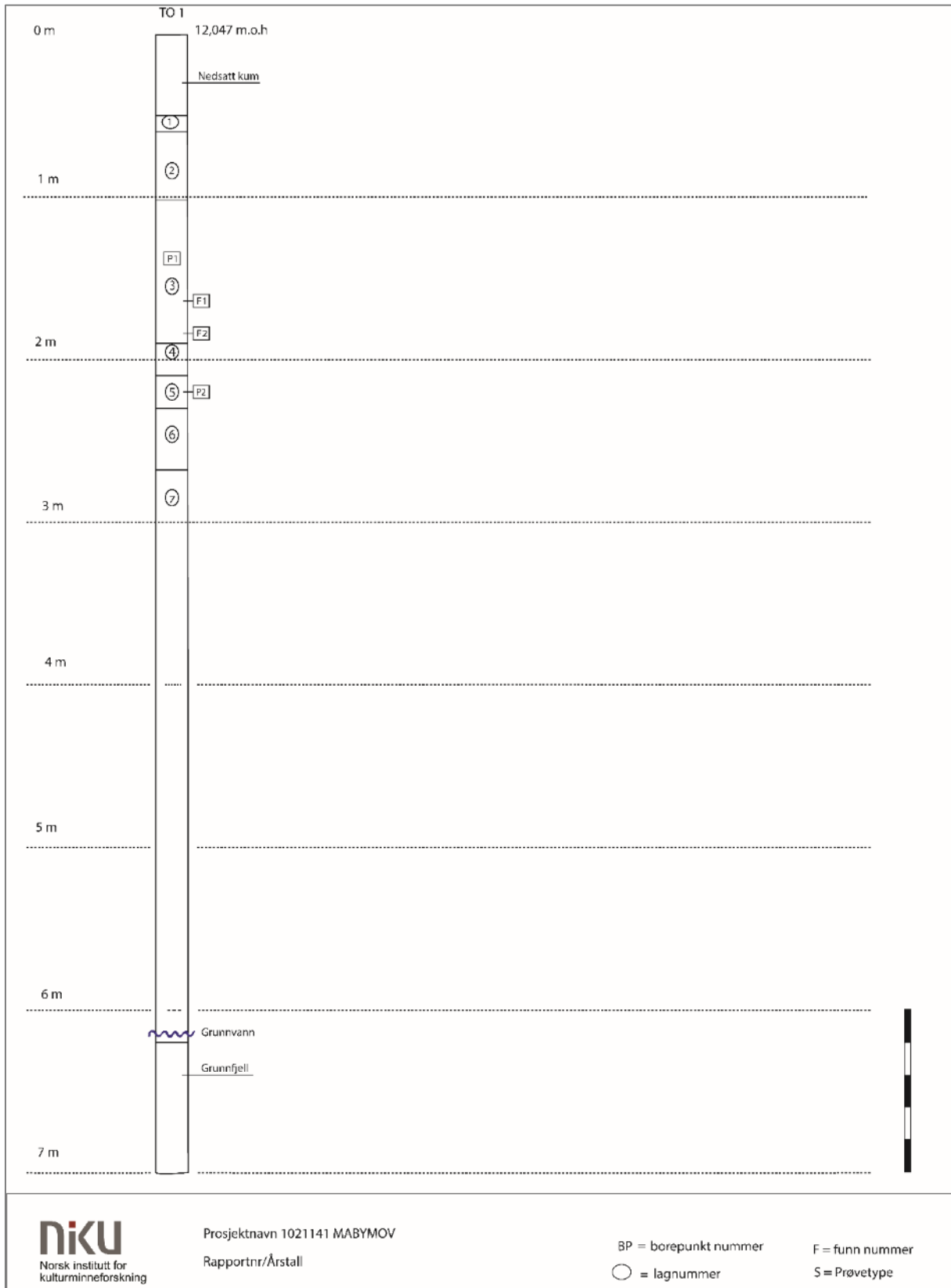
Cf53708_NIKU_16



Cf53708_NIKU_19

Borepunkt 1021141 TO1

Figur 17. Tegning av borepunkt TO1



17 Vedlegg

- 1) NIKU faktaark kulturlagssikring
- 2) Figur 18 stort format; profil i Kong Oscars gate, foto og tegning v/ NIKU. Markering av sonder v/ COWI.

17.1 NIKU faktaark kulturlagssikring

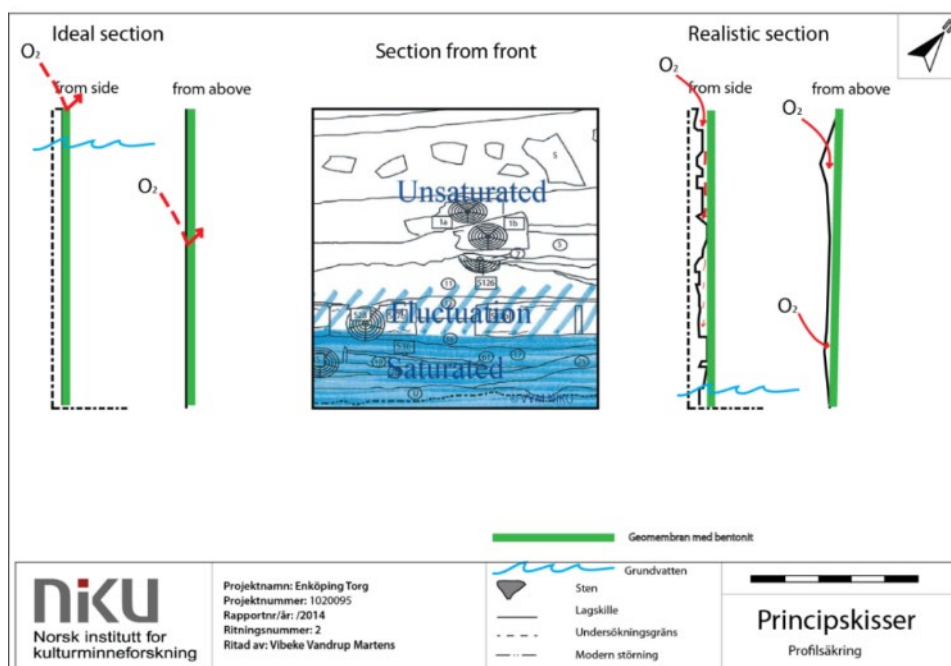
NIKU faktaark kulturlagssikring

Vibeke Vandrup Martens

Mulige metoder, vurderinger av effektivitet, tidsbruk og kostnader

Ved eksponering av arkeologiske kulturlag i profilvegger ved anleggsarbeider eller arkeologiske undersøkelser, er det viktig å huske på å sikre disse før sjaktene legges igjen. Verste nedbrytningsfaktor for organiske rester i kulturlag er oksygen (O_2), og målet med sikring er å hindre oksygen i å trenge inn i lagene. Det er i hovedsak testet og benyttet to metoder; tildekking med geomembraner med bentonitt (leirmineral); eller tildekking/innpakking av gjenstående profilvegger med et opp til 20cm (og minimum 5) tykt lag ikke-marin blåleire.

Bruk av geomembraner forutsetter helt rette og glatte profilvegger og konstant kontakt med grunnvann. Hvis membranen tørker ut, blir bentonitten til pulver igjen – og da har det ingen beskyttende effekt. Om man får tak i relativt små og fleksible geomembraner, kan det være et tidsbesparende, men ganske kostbart, tiltak. Men om ikke membranen kan holdes konstant fuktig, er det stor risiko for at oksygen kan trenge inn bak den, og da er det i beste fall bortkastet tid og penger; i verste fall mister man den arkeologi som membranen skulle beskytte.



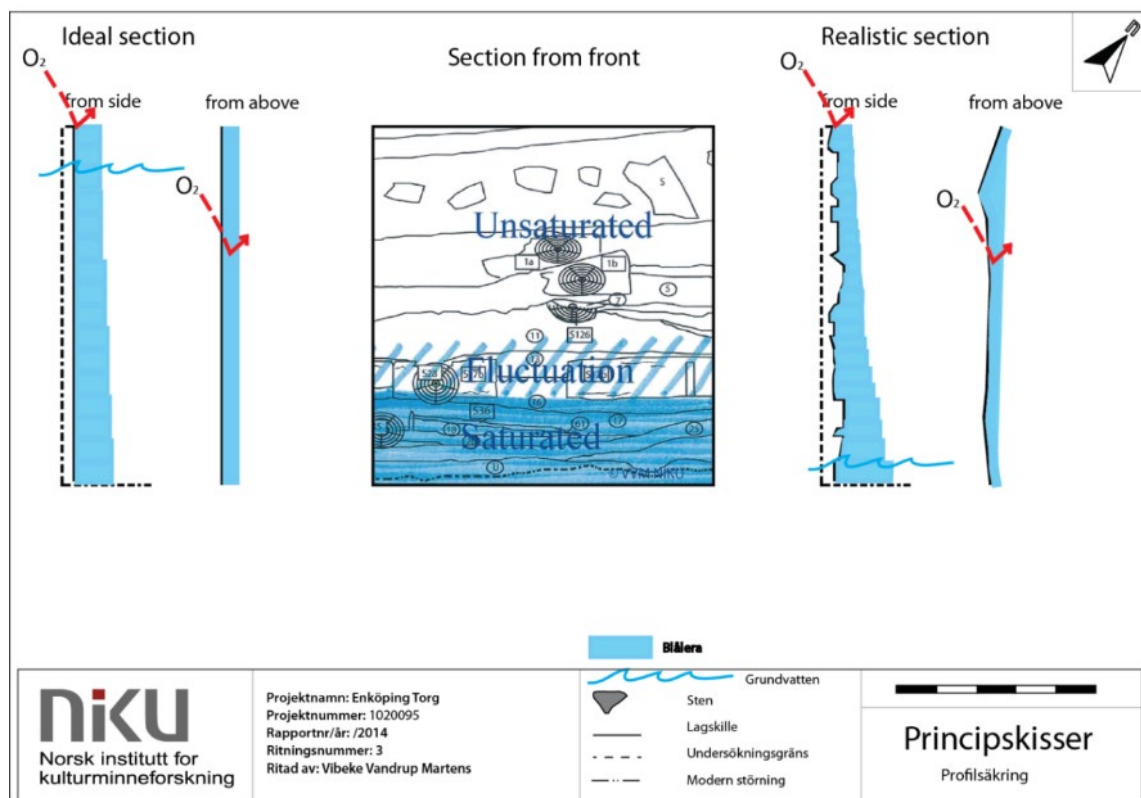
Tegning 1: En profil med pålagt geomembran. Om profilveggen er rett, og det er høy grunnvannstand, fungerer det bra. Om det er ujevne flater er det stor risiko for at oksygen kan trenge inn bak matten.

Sikreste og mest effektive alternativ blir da å legge et inntil 20cm tykt lag med ikke-marin blåleire, som presses helt inn mot og i profilveggen. På den måten unngår man at oksygen kan trenge inn, uansett hvor ujevn profilveggen måtte være, og binder fukten i jordlagene lengst mulig. Utenpå leiren kan man legge vanlig geotekstil/fiberduk og deretter fylle opp med ønsket materiale, uten å risikere at det forstyrrer fortsatt bevaring av kulturlagene.

Om det er lite plass, må man gjøre det for hånd (tungt og tidskrevende), men om man får ned en gravemaskinskuff i sjakten, kan den skyve leiren på plass inn mot profilen (under arkeologisk overvåking) – da er det en effektiv og billig metode. Sårbare områder med gjenstander eller installert overvåkingsutstyr som stikker ut av veggen må pakkes for hånd.

Det er viktig at leiren som brukes er ikke-marin, da marin leire inneholder sulfat som kan oksidere kulturlagene og dermed øke nedbrytningshastigheten – altså motsatt av den ønskede effekten. Leiren må være plastisk og fri for store stein – helst blåleire, men såkalt gråleire kan være et alternativ.

Leiren har den fordel at den slipper vann igjennom, men svært sakte, så kulturlagene får anledning til å suge til seg mest mulig fukt. Det er med på å bevare det organiske materialet samt sikre fremtidig bevaring – og man unngår en ikke ubetydelig sideeffekt: setningsskader på bygninger, gater og infrastruktur.

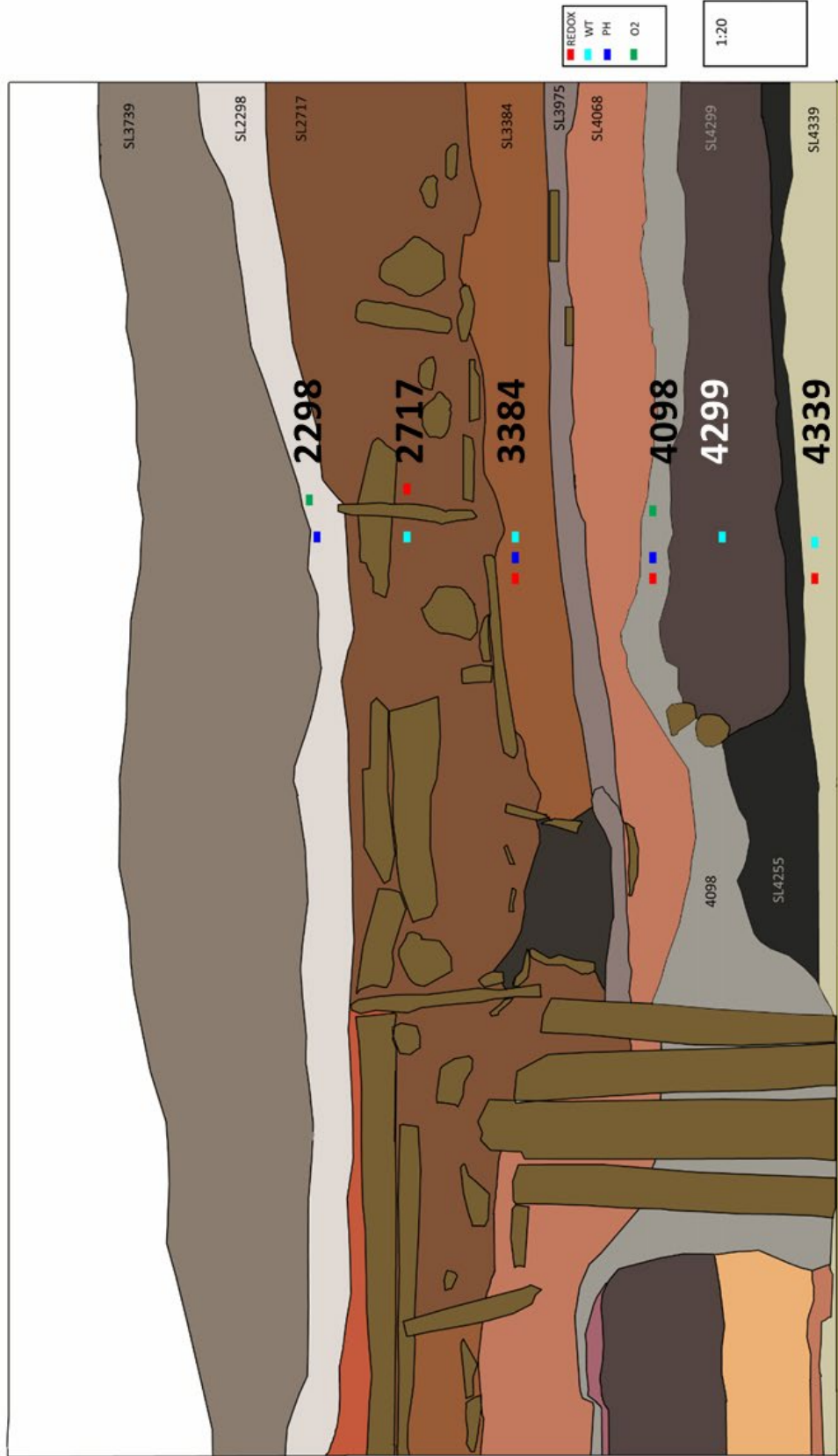


Tegning 2: En profilvegg med leire lagt helt inn til veggen og pakket inn mellom ujevnheter i overflaten.

17.2 Figur 6 stort format. Profil i Kong Oscars gate, Bergen.



PROFIL NORD (4314)
 ØVRE KORSKIRKEALLMENNINGEN/KONG OSCARS GATE



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 99
ISSN 1503-4895
ISBN 978-82-8101-244-8

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