

Statusrapport MABYMOV pr. 31. mars 2021, miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1.

Middelalderbyene Bergen og Tønsberg

Vibeke Vandrup Martens (NIKU), Rory Dunlop (NIKU), Liv Bruås Henninge (COWI), Mike Voellmecke (Cautus Geo), Jørgen Engebretsen (Cautus Geo)





Tittel Statusrapport MABYMOV pr. 31. mars 2021, miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1. Middelalderbyene Bergen og Tønsberg	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 106	Publiseringsdato 27.03.2001
	Prosjektnummer 1021141	Sider 68
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Vibeke Vandrup Martens (NIKU), Rory Dunlop (NIKU), Liv Bruås Henninge (COWI), Mike Voellmecke (Cautus Geo), Jørgen Engebretsen (Cautus Geo)	ISSN 1503-4895 ISBN 978-82-8101-251-6	Periode gjennomført Juli 2018-mars 2021
	Forsidebilde Mike og Sunniva ved TO-3, Storgaten, Tønsberg. Foto: VVM/NIKU	

Prosjektleder Vibeke Vandrup Martens
Prosjektmedarbeider(e) Vibeke Vandrup Martens, A. Rory Dunlop, Line Hovd, Sunniva Wilberg Halvorsen (NIKU); Liv Bruås Henninge (COWI AS); Lars Krangnes, Mike Voellmecke, Jørgen Engebretsen (Cautus Geo AS)
Kvalitetssikrer Annika Haugen (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 bevaringsstilstand og bevaringsforhold i Tønsberg sentrum (TO1). Det ble også utført befaring av eksisterende miljøbrønn TO-3 og piezometerbrønn TO-2 i Tønsberg oktober 2020. Dette er tredje statusrapport fra MABYMOV prosjektet. 2020 var et år da verden ble rammet av COVID-19 pandemien. Dette satte begrensninger for hva som kunne gjennomføres og når, og medførte også mindre forsinkelser i dette prosjektet.
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). October 2020, an inspection of existing dipwell TO-3 and piezometer well TO-2 was carried out in Tønsberg. This is the third status report from the MABYMOV project, monitoring medieval towns. 2020 was a year when the whole world was impacted by the COVID-19 pandemic. This imposed restrictions on what could be done, and when, and it also caused minor delays in this project.

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)

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.

2020 var et år da hele verden ble rammet av COVID-19 pandemien. Dette satte begrensninger for hva som kunne gjennomføres, og når, og medførte også mindre forsinkelser i dette prosjektet.

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.

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	9
1.1	Rapportens struktur og innhold	9
1.2	Analyseparametere kulturlag	10
1.3	Beskrivelse av bevaringsforhold	10
2	Bergen, Vågsbunnen. Beskrivelse av målepunkter B1, B2 og B3	13
2.1	Miljøbrønn B1	14
2.2	Miljøprofil B2	14
2.3	Miljøbrønn B3	18
3	Arkeologiske, historiske og topografiske opplysninger – Bergen	21
4	Miljøundersøkelsene: metoder og gjennomføring	22
5	Resultater fra det arkeologiske feltarbeidet	23
5.1	Generelle forklaringer	23
5.2	Profilveggen i Kong Oscars gate: observasjoner	23
5.2.1	Miljøprofil B2 (NIKU betegnelse 1021141 B-2)	23
5.3	Naverboringen i Nedre Hamburgersmauet: observasjoner	24
5.3.1	Borepunkt B3 (NIKU betegnelse 1021141 B3)	24
6	Dateringer og funn	28
6.1	Karbondateringer	28
6.1.1	Miljøbrønn 1021423-1 (B3)	28
6.2	Datering og konklusjoner	28
6.3	Funn	28
7	Arkeologisk vurdering av bevaringstilstand	29
8	Resultater av jordkjemiske analyser – Bergen	30
8.1	Resultater fra B1	30
8.2	Resultater fra B2	31
8.3	Resultater fra B3	32
9	Oppdaterte sensordata - Bergen	33
9.1.1	B1	33
9.1.2	B2	36
9.1.3	B3	38
10	Vurdering av overvåkingsdata – Bergen	40
10.1	Miljøbrønn B1	40
10.2	Miljøprofil B2	40
10.3	Miljøbrønn B3	41
11	Grunnboring for miljøovervåkingspunkt TO1 i Tønsberg	43
11.1	Arkeologiske, historiske og topografiske opplysninger -Tønsberg	43
11.2	Naverboring i Møllegaten: observasjoner	44
11.2.1	Grunnboring TO1 (NIKU betegnelse 1021141 TO1)	44
12	Dokumentasjon Tønsberg	45
12.1	Resultater fra det arkeologiske feltarbeidet	46
12.2	Naverboringen: observasjoner	46
12.2.1	Borepunkt TO1 (NIKU betegnelse 1021141 TO1)	47
12.3	Arkeologisk vurdering av bevaringstilstand for borepunkt TO1	47
13	Resultater av jordkjemiske analyser – Tønsberg	49
13.1	Resultater fra TO1	49
14	Konklusjoner av miljøovervåkingsundersøkelsene i Bergen og Tønsberg	51
14.1	Bergen	51
14.2	Tønsberg	51
15	Referanser	55
16	Vedlegg 1. 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 5 stort format. Profil i Kong Oscars gate, Bergen	66

Figurliste

Figur 1.	Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser.	11
Figur 2.	Situasjonskart over målepunktene i Bergen. B1, B2 og B3 er vist i oval ring.	13
Figur 3.	Plasseringen til brønn B1.	14
Figur 4.	Prøvetaking og installasjon av sensorene i B2 profil.	16
Figur 5.	Fotografi og skjematisk tegning av sensorplasseringer i B2 miljøprofil.	17
Figur 6.	Plassering av miljøbrønn B3.	19
Figur 7.	Bilder fra boring, prøvetaking og installasjonen av miljøbrønn B3.	20
Figur 8.	Analysen av prøver fra VMB01 Skostredet (Bergersen 2014).	30
Figur 9.	(a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) redoks og O ₂ data fra miljøbrønn B1. Dataene er samlet i tidsperioden oktober 2019 til 1. mars 2021.	35
Figur 10.	(a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) Redoks og O ₂ data fra miljøprofil B2. Dataene er samlet i tidsperioden 5. juli 2018 til 1. mars 2021.	37
Figur 11.	(a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) Redoks og O ₂ data fra miljøbrønn B3. Dataene er samlet i tidsperioden september 2018 til 1. mars 2021.	39
Figur 12.	Plassering av borepunkt TO1.	44
Figur 13.	Bilder fra feltarbeidet før oppstart av boringen av miljøbrønn TO1.	45
Figur 14.	Bilder fra felt ved boring av miljøbrønn TO1.	46
Figur 15.	Kart over planlagte og eksisterende overvåkingspunkter i Tønsberg.	52
Figur 16.	Piezometerbrønn TO-2a, Nedre Langgate 40, Tønsberg.	53
Figur 17.	Miljøbrønn TO-3, Storgaten 48, Tønsberg.	54
Figur 18.	Tegning av borepunkt TO1.	62
<u>Vedlegg 2</u>	Figur 19 (fig 5 i stort format); B2 profil i Kong Oscars gate.	63

1 Bakgrunn

Det ble i 2018 satt i gang et langvarig prosjekt for miljøovervåking av parametere 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 en 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 middelalderbyene. 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 og bevaringsforholdene for kulturlag i tre av de større middelalderbyene: 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 middelalderen gjennom fortløpende logging av utvalgte parametere.

Bevaringstilstanden for kulturlag dokumenteres av arkeolog samtidig som utstyr er montert. Det er også tatt ut prøver til jordkjemisk og/eller vannkjemisk analyse. Det er installert 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 etablert med utstyr, 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 gjennomføres i tråd med Norsk Standard *NS9451:2009*, «Kulturminner. Krav til miljøovervåking og -undersøkelse av kulturlag».

Oppdraget fokuserer primært på:

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

Overvåkingen består 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 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 flere 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 og befaring av TO2a og TO3 i det ovenfor beskrevne programmet. Data fra analyser av jordprøver er presentert sammen med overvåkingsdata fra oppstart frem til 1. mars 2021.

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 1. mars 2021.

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.

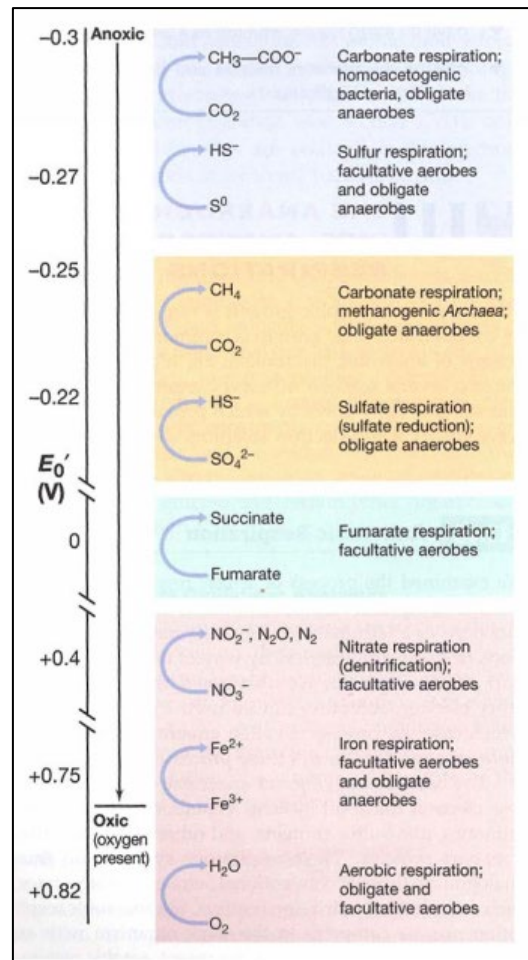
S1	S2
Tørrestoffinnhold	Matrikspotensiale (pF)
Glødetap	Porøsitet
pH	Sulfat
Ledningsevne / klorid	Sulfid
	Jern (II)
	Jern (III)
	Ammonium (ekstraherbart)
	Nitrat

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 redokspotensiale). 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

Bevaringsforhold er beskrevet etter de nevnte to sett grunnleggende miljøparametere (S1 og S2, Norsk Standard 9451:2009). Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemiske og fysiske forhold. Dette fører til at naturlige gradienter (f.eks. hydrologiske 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. Stabile negative redoksforhold (anaerobe forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag (Madigan og Martinko, 2006).

Selv om redoks i jordtypen kan indikere at jernreduksjon dominerer, vil også andre prosesser som f.eks. sulfatreduksjon og dannelse av metallsulfider forekomme. Ved lavere redoksforhold, vil karbonnedbrytning foregå langsommere. Så lenge det ikke er inntrenging av fritt oksygen, vil også korrosjon av metallgjenstander foregå langsommere.

En typisk teskje jord kan inneholde omkring 10^9 bakterietyper. Bakterietypene varierer voldsomt 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 av disse som er til stede. Grunnvannskilden 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 altså er til stede, går over til nitratreduserende forhold når alt oksygen er brukt opp dersom det er nitrat tilgjengelig. Deretter følger

mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før metanogene/metanproduserende forhold – så lenge de nødvendige næringsstoffene er til stede.

Under metanogene forhold observeres 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 redokspotensialet blir mer negativt. Hastigheten av den organiske nedbrytningen vil som oftest avta i rekkefølge nitrat-, mangan-, jern-, sulfatreduserende til metanogene forhold.

Oksiderende 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 prosessene vises i Figur 1 (Madigan og Martinko, 2006).

Tabell 2 viser en enkel oversikt over hvordan kulturlagene bevaringsforhold vurderes. 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 redoksforhold 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	-100	Middels
Høy	Høy	Høy	Middels	Lav	Nitratreduksjon / Sulfatreduksjon	-200	Bra
Lav	Høy	Høy	Middels	Lav	Sulfatreduksjon	-370	Bra
Lav	Høy	Høy	Høy	Lav	Sulfatreduksjon / Metanogenese	-400	Utmerket

Som avslutningsprosesser for miljøprofiler, dekkes det utgravde området med ikke-marin blåleire. Ved å begrense tilgang til næringsstoffer som kan være til stede i marin blåleire (sulfat, fosfat og bundet karbon), gjør denne prosessen kulturlaget tettere mot inntrengende oksygen. 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 2. Situasjonsskart 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 og 2020).

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 sensorerne er slått av.
6. oktober 2018	B2	Permanent strømløsning på plass på B2. O ₂ Sensor 2298 slått på.

Dato	Lokalitet	Aktivitet / Hendelse
10. desember 2018	B3	Kalibrering og batteriskift B3
25. mars 2019	B3	Kalibrering og batteriskift B3
27. september 2019	B1-B2-B3	Etablering B1 – miljøbrønn, kalibrering og batteriskift B3, vedlikehold B2
13. mars 2020	B1-B2-B3	Kalibrering og batteriskift B1 og B3, vedlikehold B2
27. april 2020	B3	Sediment-oppbygning i brønnen pumpet ut
2. juni 2020	B3	B3 loggerskap flyttet, byttet ut probe med ustabil pH-sensor; B1 kalibrering og batteriskift
24. september 2020	B1-B2-B3	Kalibrering og batteriskift B1 og B3, vedlikehold B2
1. desember 2020	B1-B3	Kalibrering og batteriskift B1 og B3
17. mars 2021	B1-B3	Kalibrering og batteriskift B1 og B3

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 3. Plasseringen til brønn B1.

2.2 Miljøprofil B2

Profil B2 i krysset av Kong Oscars Gate og Øvre Korskirkeallmenningen ble frilagt ved arkeologisk utgravning i forbindelse med utbygning av søppelsug 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 utgravningen. Ferdigmonterte 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 avrenning fra de tilstøtende kulturlagene. Ca. 4 m³ leire ble brukt under tildekkingen. Det dekket den eksponerte profilveggen mot nord, men ikke profil mot øst.



a) Prøvetaking B2



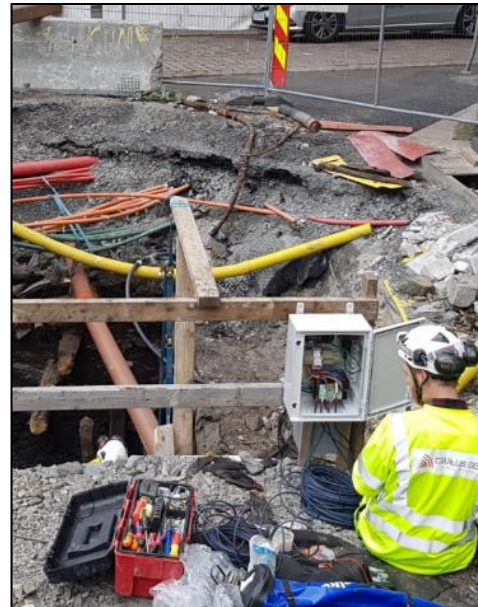
b) Sensor-installasjon



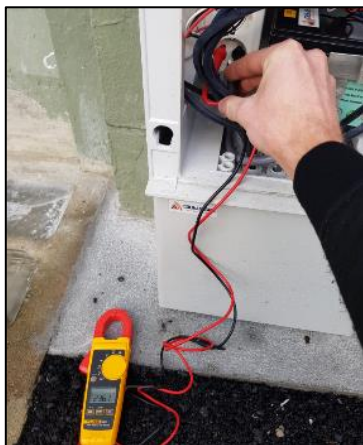
c) Sensor-installasjon



d) Sensorene i profil



e) Installasjon midlertidig strømforsyning



f) Montering permanent strømkilde



g) Ferdig montert skap på veggen



h) Ferdigstilt installasjon

Figur 4. Prøvetaking og installasjon av sensorene i B2 profil, montering fast skap på veggen, strømkilde og ferdigstilt installasjon.

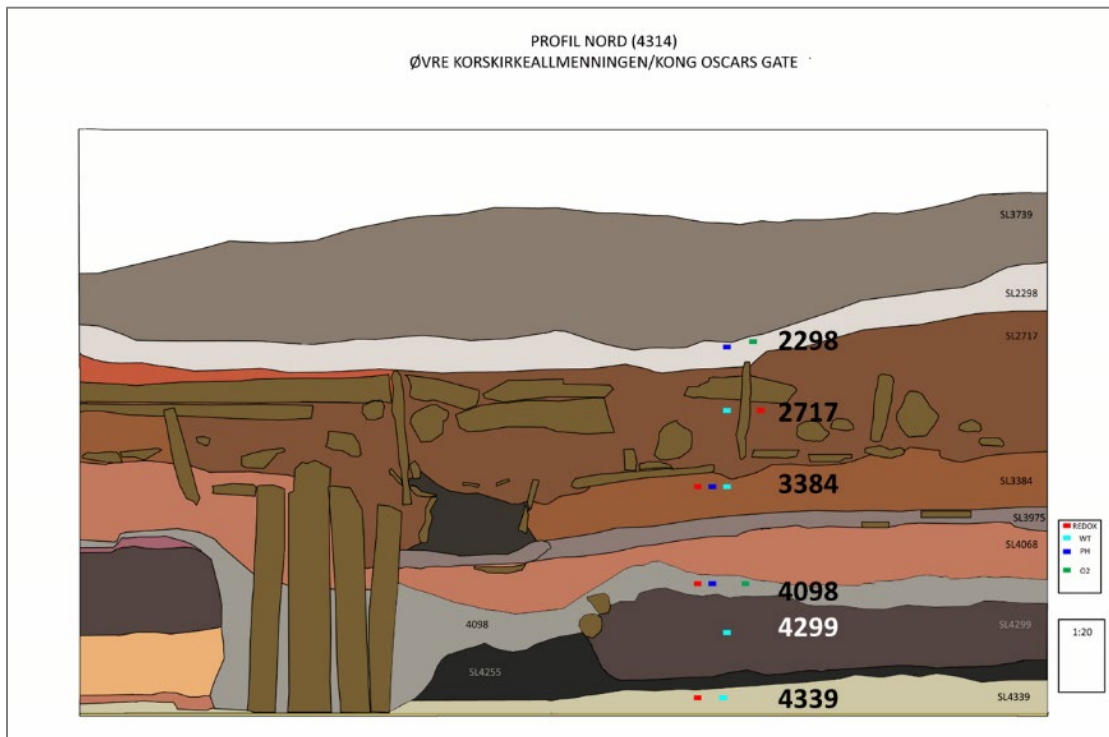
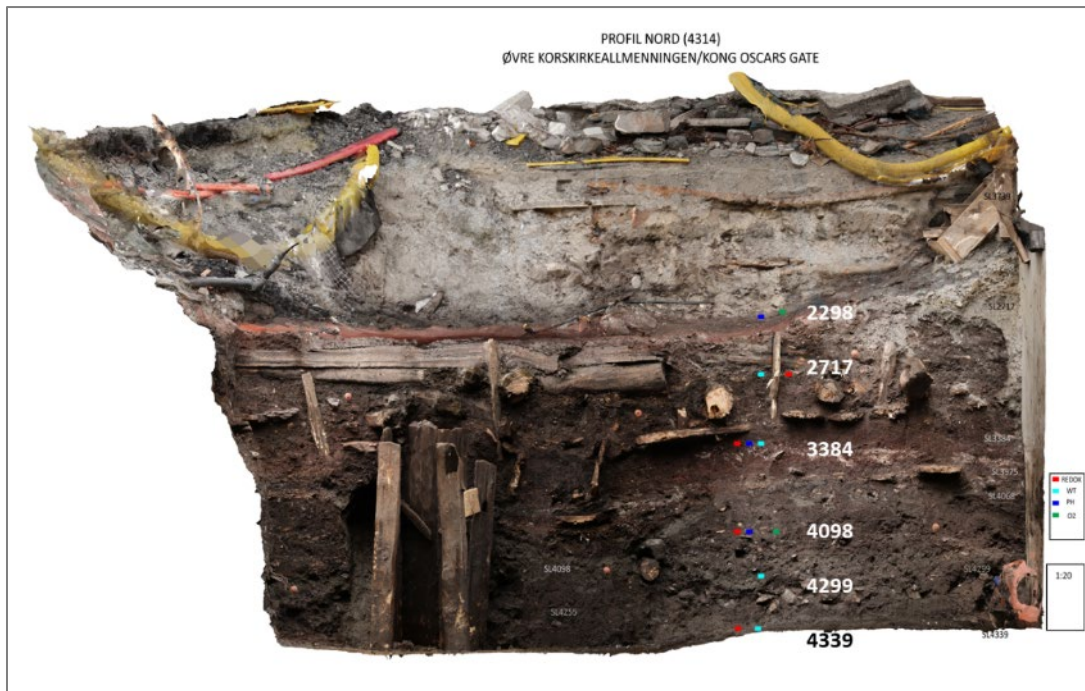
B2 profilen overvåkes på forskjellige dybder for følgende parametere:

- > 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 i tillegg ble kablene lagt inn 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 5 viser sensorplasseringer i kulturlagene. Se vedlegg 2 for å se denne figuren i større format.



Figur 5. 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.

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 viste seg å være en produksjonsfeil som nå er kartlagt av Cautus Geo og Apogee som produserer sensorene. 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.

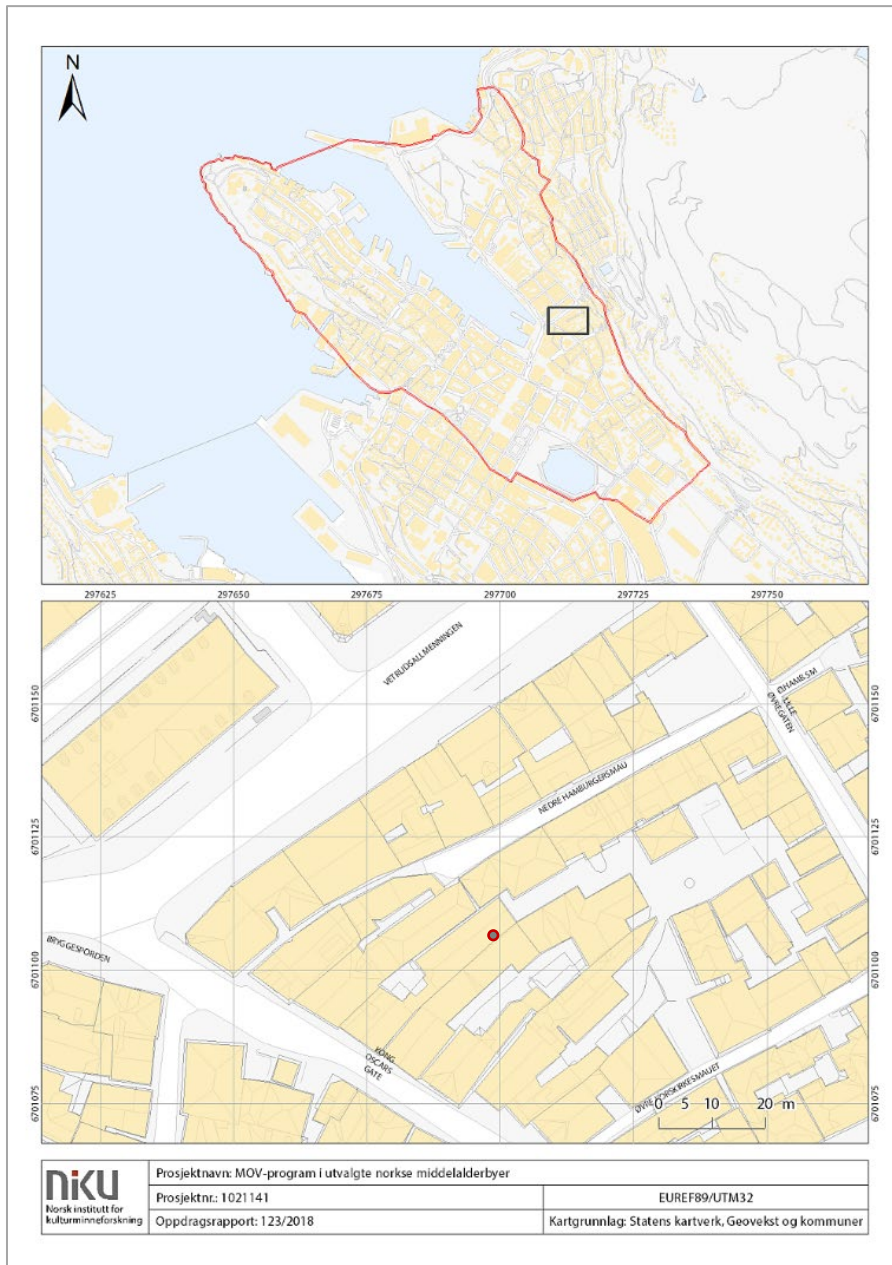
Det er installert en vannkvalitets-multisonde i grunnvann i B3, se Figur 6. Følgende måleparametere overvåkes i brønnen:

- > 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 2020) 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 redoksmålinger. Et nytt brønnlokk ble installert den 31. januar 2019. Dessverre har ikke dette medført at forholdene har stabilisert seg, det er fortsatt høye O₂ og redoksmålinger.

Figur 7 viser boring, prøvetaking og sensorinstallasjon i Nedre Hamburgersmauet.



Figur 6. Plassering av miljøbrønn B3. (Kart: NIKU)



a) Borerigg og sensorinstallasjon



b) Prøvetaking



c) Trekkør for sensorkabler



d) Ferdig montert installasjon

Figur 7. 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, kulturminne-ID 89049, og i sentrale deler av Vågsbunnen, én av Middelalderbyens viktigste historiske bydeler. Som i dag, har de aktuelle undersøkelsesområdene 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 skomakere i all synlighet – i løpet av middelalderen.

I Kong Oscars gate var det foretatt en arkeologisk undersøkelse i forbindelse med utbygging av søppelsug 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 søppelsug 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 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 prosjektens arkeologiske personale, med hjelp av gravemaskinfører tilknyttet prosjektet for søppelsug-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).

Når det gjelder overvåkingsspunkt B1, ble naverboring utført av Multiconsult og NIKU ved Rory Dunlop i desember 2012 (Dunlop 2013; Bergersen 2014). Brønnen ble kontrollert av COWI og Cautus innen instrumentering.

5 Resultater fra det arkeologiske feltarbeidet

5.1 Generelle forklaringer

Resultatene fra de arkeologiske undersøkelsene er hovedsakelig presentert i tabellform, og da kan enkelte begrepsavklaringer her gjøre lesningen lettere.

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. Boringen for B1 ble utført i forbindelse med tidligere arbeider og av andre aktører.

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 søppelsug 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 jordlukt. 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 skjellsand. Sekundært dumpete avfallsmasser (garveri), utfylling/planering. Dårlig bevaringstilstand.

Moh fra	Moh til	Kontekst-nummer	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
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 og 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 fluktueringszone.
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?

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 miljøbrønfilteret (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 fôringsrør 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)

Moh fra	Moh til	Sjikt-nummer	Samme som sjiktnr.	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
							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 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/-

Moh fra	Moh til	Sjikt-nummer	Samme som sjiktnr.	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
							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 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

Moh fra	Moh til	Sjikt-nummer	Samme som sjiktnr.	¹⁴ C-datering/-funn/-prøver	Periode	Bev *	Beskrivelse av innhold
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 de forrige sidene)

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 søppelsug-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 vanskelig gjøres 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 er ikke tatt ut nye jordprøver det siste året. Prøvene som ble tatt ifm. boringen i 2012 er rapportert i Bergersen (2014). Resultatene fra analysene er gjengitt i Figur 8. Brønnen var 4 m dyp med grunnvann på 1,80 m fra overflaten. Det var sulfidlukt 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		Oksiderende forhold
	Middels		Reduserende forhold
	Bra til utmerket	*	SOPS : Status etter

Norsk Standard NS 9451:2009

Figur 8. Analyser av prøver fra VMB01 Skostredet (Bergersen 2014).

8.2 Resultater fra B2

Resultatene av analyse av jordprøver er tidligere rapportert i statusrapport for 2020 og vises i Tabell 8. Resultatene viste 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 (NH_4)-Nitrogen (N) verdier var under deteksjonsgrensen på alle prøvene. Det var også tilfelle for Fe^{2+} (oksidert jern). Sulfatverdier var mellom 93 og 290 ppm (som mg/kg TS). NH_4 -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 viste relativt stabile betingelser i jorden og laget har sannsynligvis veldig lave redoks-verdier, hvilket sannsynliggjør 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 oksygentilførsel vil gi økt innhold oksidert jern (Fe^{2+}) og vil også oksidere bort sulfid (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)	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)	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






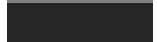
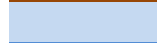
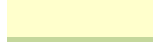



Tabell 9. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra B2.

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	**Oksiderende	A2
2717	3,44	46	66	7,4	130	Middels	Bra	Reduserende	A3-4
3384	3,10	52	72	7,9	190	Dårlig	Bra	Reduserende	A2
4098	2,73	25	51	7,1	110	Middels	Bra	Reduserende	A4
4068	*	35	61	7,4	140	Dårlig	Dårlig	***Oksiderende	A3
4299	2,42	3	21	7,4	77	Bra	Bra	Reduserende	A/B3
4339	2,22	13	43	7,1	67	Middels	Bra	Reduserende	B/C2

* prøve MOH ikke målt (lag 2,60-2,45)

** Ingen sulfidanalyser av prøven

*** Svært lav sulfid

	Lavt organisk innhold 10%		Elendig til dårlig
	Middels organisk innhold 10-30%		Middels
	Høyt organisk innhold >30%		Bra til utmerket
	Lavt vanninnhold 10-30%		Oksiderende
	Middels vanninnhold 30-40%		Reduserende
	Høyt vanninnhold > 50%		

*

Bevaring: NS 9451:2009

8.3 Resultater fra B3

Det ble tatt ut jordprøver fra boringen september 2018, og resultatene fra analysene er tidligere rapportert i Martens m.fl. (2019) og i statusrapport 2020 (Martens m.fl.). De er også gjengitt i Tabell 10, Tabell 11 og i teksten under.

Ledningsevnen var veldig lav i alle prøvene fra B3, og det var lite nitrat-nitrogen (NH₄-N) og sulfat i prøvene. Ved lavt sulfatinnhold, er det begrenset hvor mye sulfid som kan dannes og det er ikke mulig danne betydelig 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 tyder likevel på stabile betingelser i jorden og lite inntrengning av oksygen i de øverste deler av laget. Nitrat var under deteksjonsgrensen for alle prøvene. Oksidert jern (Fe²⁺) ble ikke observert (< 0,0001 % TS), men total jern (Tot-Fe) målinger som mg/kg viste betydelige mengder jern (Fe) til stede i prøvene. Det er mulig at jern som ble observert i prøvene stammet fra bundne former i tillegg til tidligere oksidert jern. Noe av jernet kan stamme fra tidligere dannet jernsulfidmineraler som igjen kan være et resultat av sulfat-reduserende 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 karbonbaserte strukturer i laget, er selve det organiske innholdet i prøvene middels til lavt. Det er mest sannsynlig at partiklene < 5 mm 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	Lednings- evne (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	Reduserende	B2
B3-02	(2,10-2,20)	*	49	7,0	2,6	Bra	Bra	Reduserende	C2
B3-03	(2,75-2,85)	21	50	7,0	29	Bra	Bra	Reduserende	C2
B3-04	(3,05-3,15)	*	51	7,0	29	Bra	Bra	Reduserende	C2
B3-05	(3,35-3,45)	*	61	7,0	29	Bra	Bra	Reduserende	C3
B3-06	(3,35-3,45)	*	49	7,0	27	Bra	Bra	Reduserende	C3
B3-07	(4,30-4,40)	1	11,1	7,1	2,9	Bra	Bra	Reduserende	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

	Oksiderende
	Reduserende

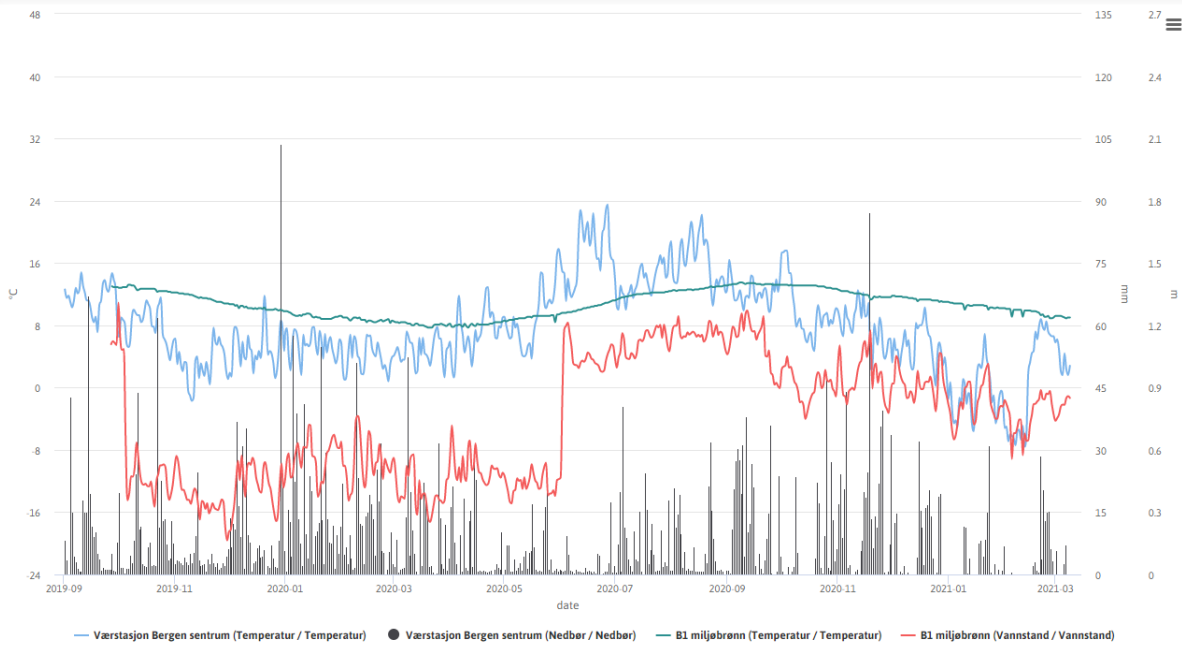
Bevaring : NS 9451:2009

9 Oppdaterte sensordata - Bergen

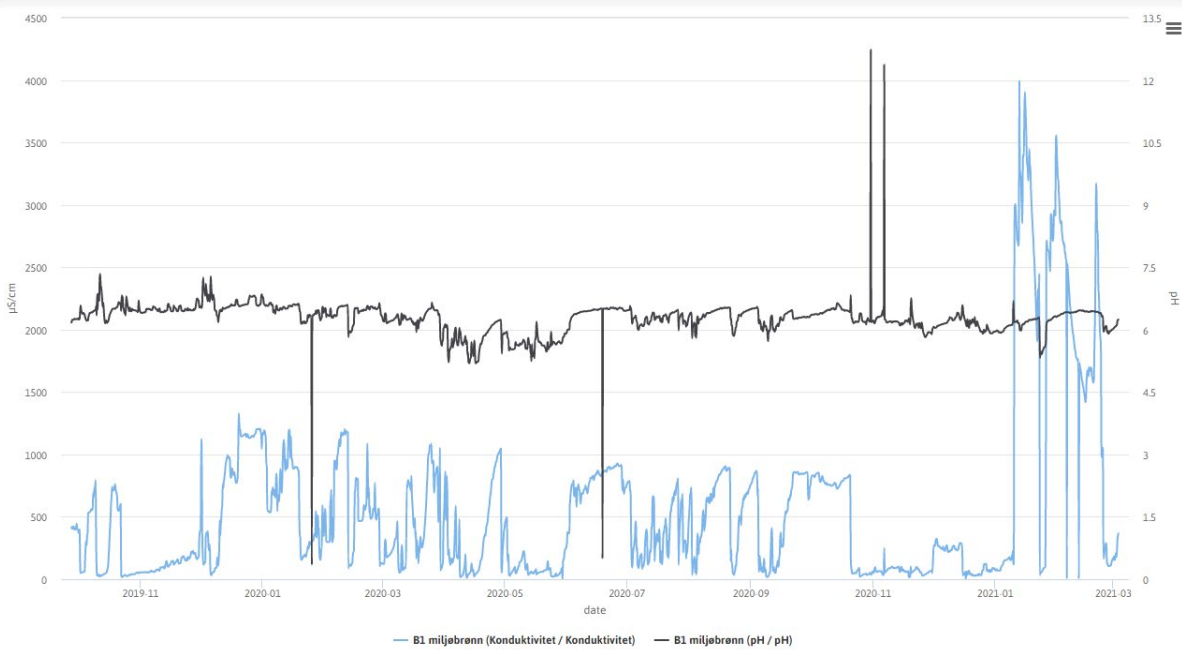
9.1.1 B1

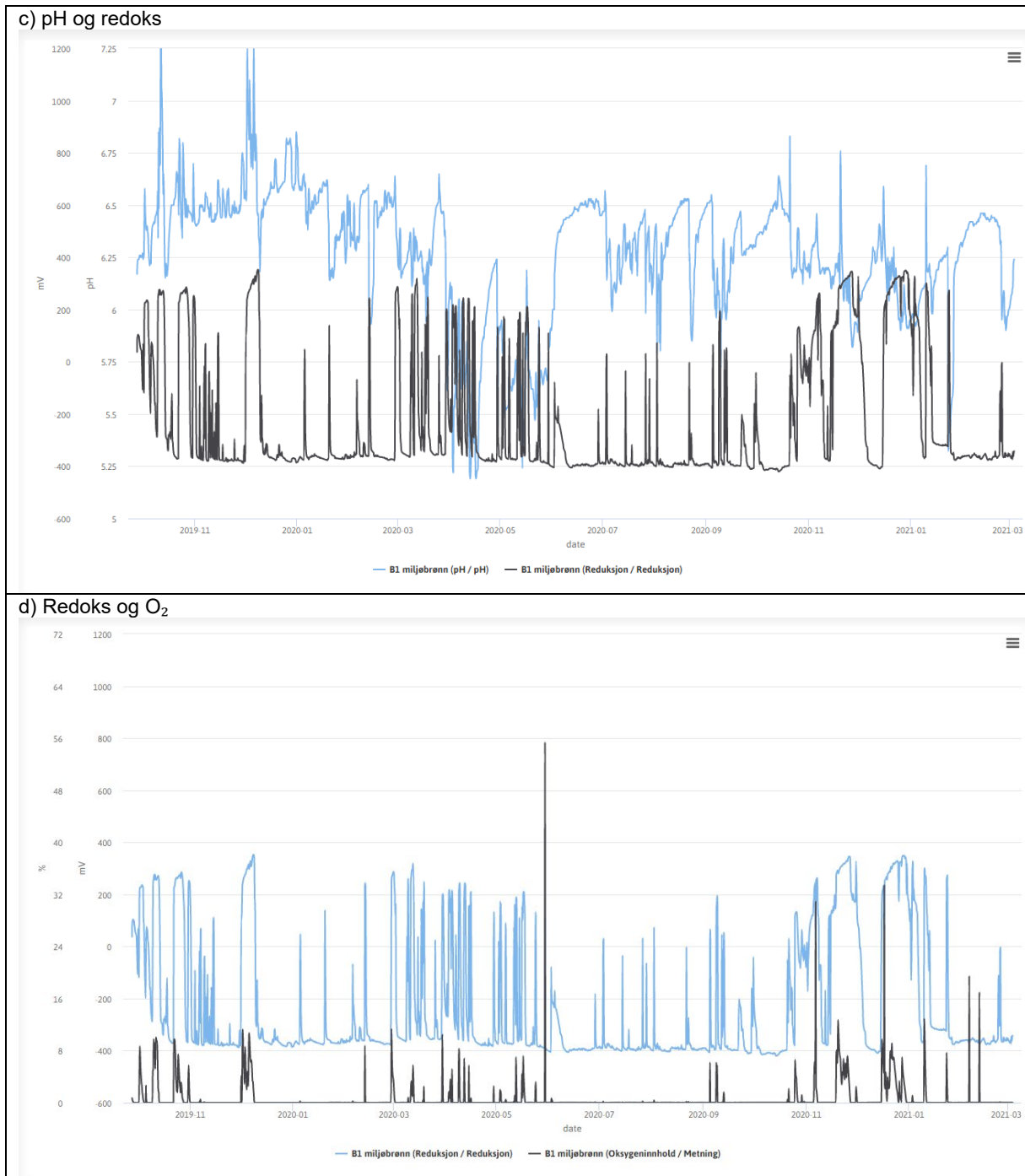
Figur 9 viser sensordata for miljøbrønn B1 fra oppstart t.o.m. 1. mars 2021.

a) Temperatur, vannstand og nedbør



b) Ledningsevne og pH

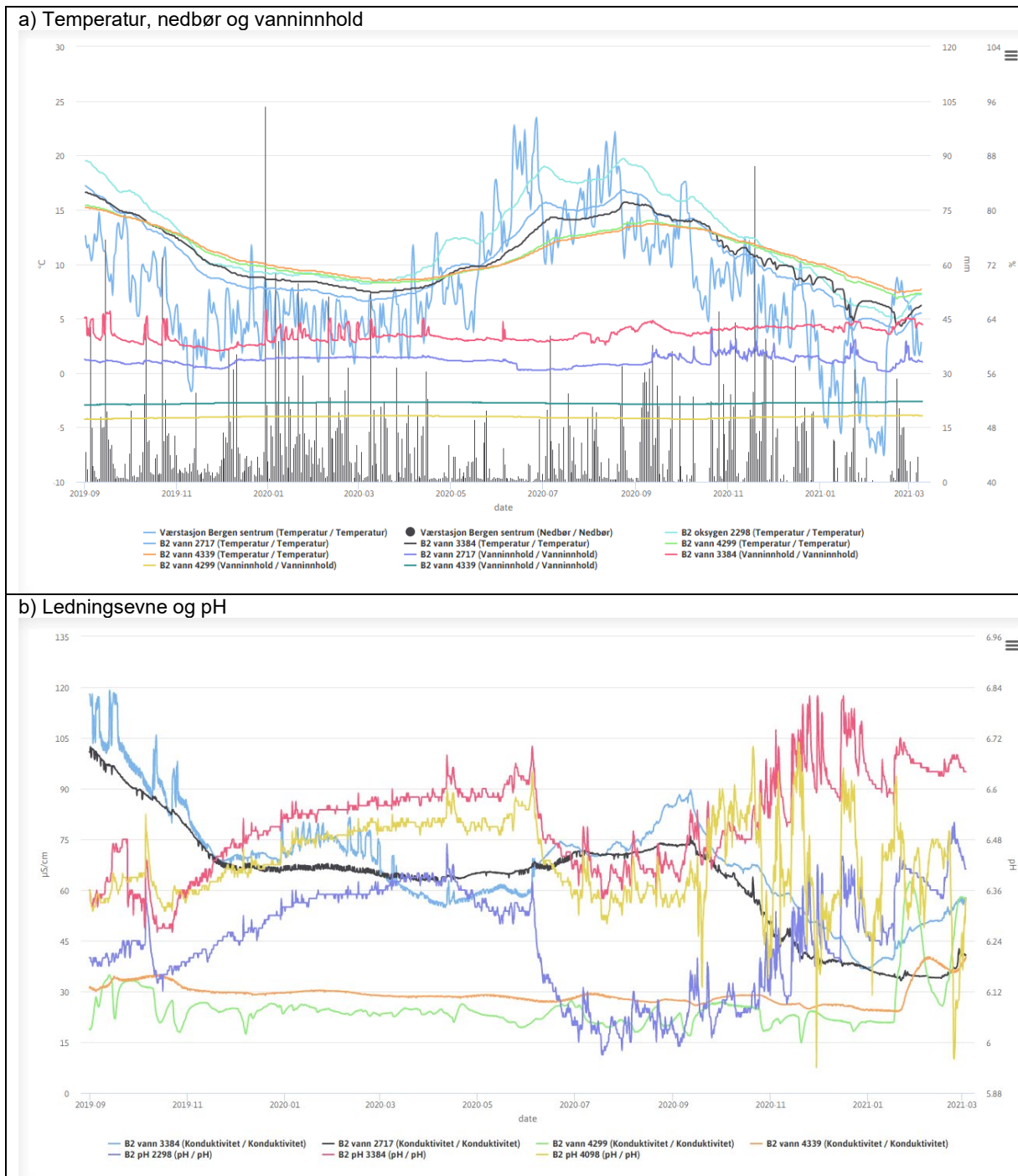


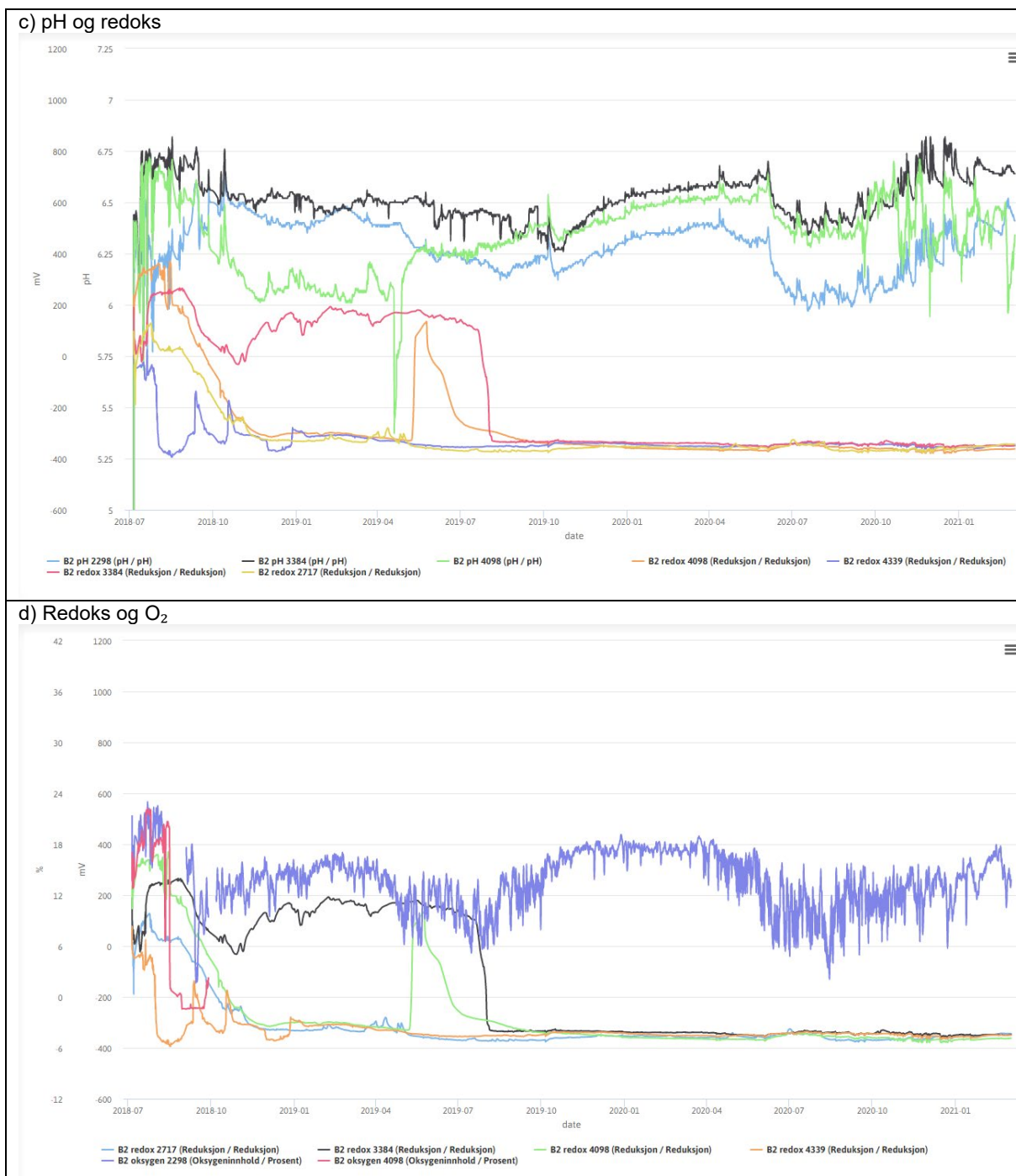


Figur 9. (a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) redoks og O₂ data fra miljøbrønn B1. Dataen er samlet i tidsperioden oktober 2019 til 1. mars 2021.

9.1.2 B2

Figur 10 viser sensordata for miljøprofil B2 fra oppstart t.o.m. 1. mars 2021.

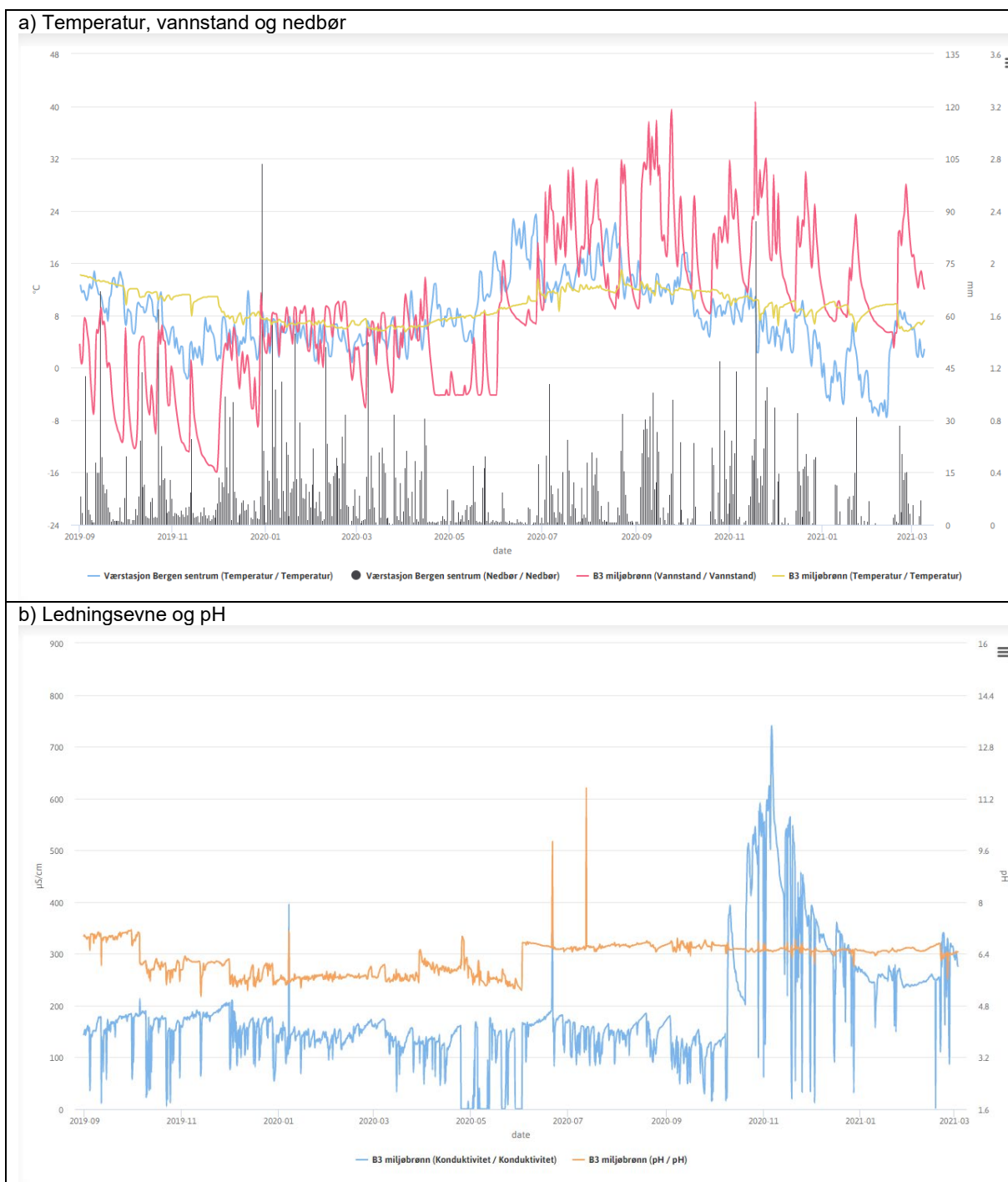


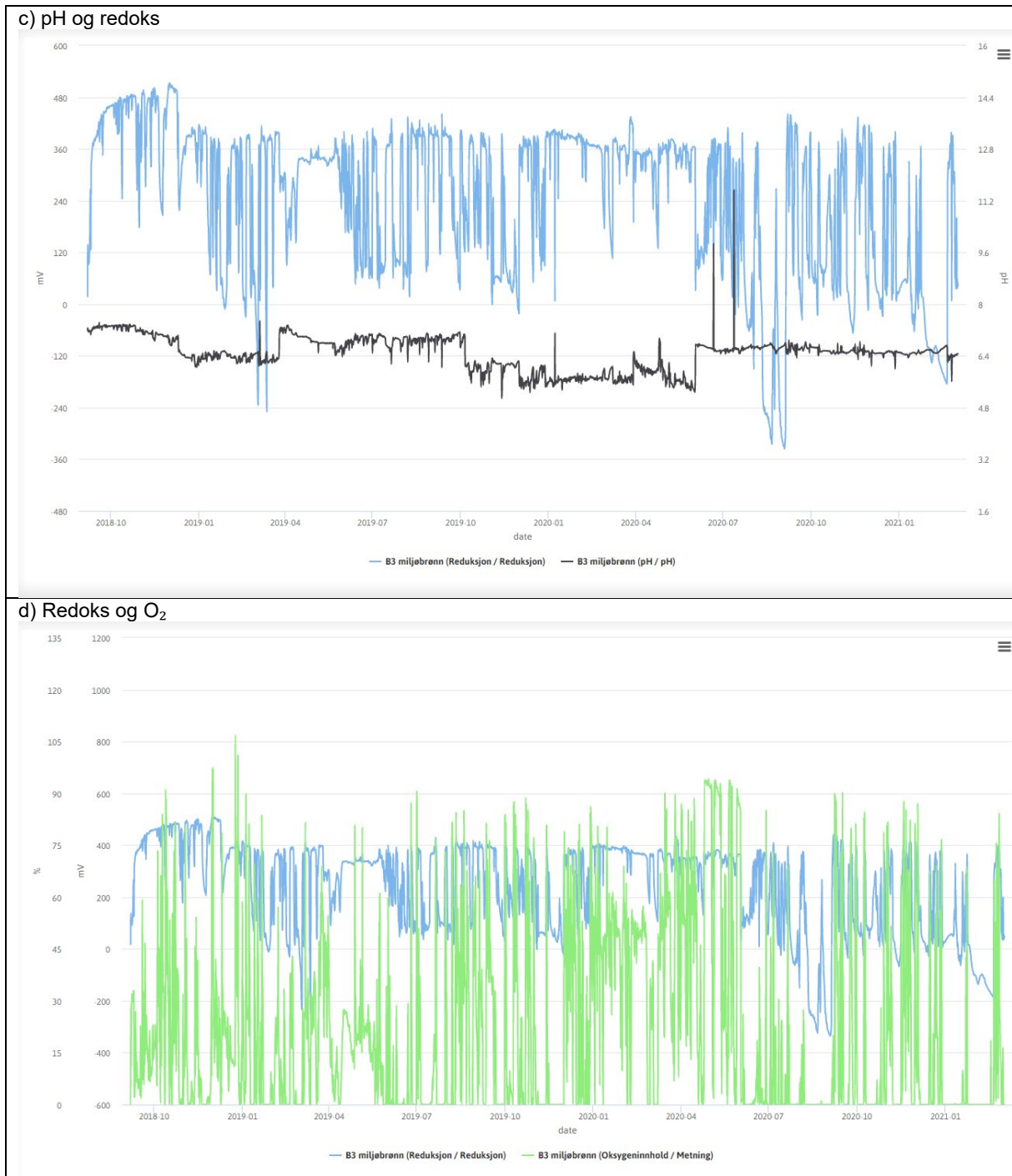


Figur 10. (a) Temperatur og vannstand, (b) Ledningsevne og pH, (c) pH og redoks og (d) Redoks og O₂ data fra miljøprofil B2. Dataene er samlet i tidsperioden 5. juli 2018 til 1. mars 2021.

9.1.3 B3

Figur 11 viser sensordata for miljøbrønn B3 fra oppstart t.o.m. 1. mars 2021.





Figur 11. (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 1. mars 2021.

10 Vurdering av overvåkingsdata – Bergen

10.1 Miljøbrønn B1

Figur 9 viser sensordata for miljøbrønn B1. Temperaturen i brønnen viser godt samsvar med årstiden og temperaturen målt for værstasjonen i Bergen sentrum. Temperaturen har variert mellom ca 13 °C for sommer og 8 °C for vinter. Vannstanden hadde en variasjon mellom 0,2 m og 0,7 m fra toppen av brønnen frem til mai 2020. Da skjedde det en senking av vannstanden til 1,0-1,3 m før det i september 2020 begynte å stige igjen til 0,6-0,9 m i begynnelsen av 2021. Vannstanden har stort sett fulgt nedbørsmønsteret for værstasjonen i Bergen med unntak av det lille hoppet i grafen i mai 2020. 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 % metning under hele måleperioden. Det har vært noen episoder der metningen har gjort et kortvarig stort hopp, det største skjedde 29. mai da metningen var på hele 55%. Det var også episoder senere i perioden da det kom opp i 20-30% metning. Dette har trolig en måleteknisk årsak. Oksygenmålingene viser også lange perioder med ikke-målbare mengder, noe som stemmer godt med reduktive forhold i grunnen.

Redoks-verdiene har vist stor variasjon under måleperioden. Variasjonen har vært fra >300 mV og synkende ned mot -380 mV i hele perioden fra oppstart i 2019 og frem til mars 2021. Dette henger sammen med periodene med økning av oksygen og tyder på at det ikke er stabilitet i oksygenivået i vannet. pH ligger relativt stabilt mellom 6 og 7 og de små variasjonene sammenfaller med variasjoner i ledningsevnen. På Våren 2020 var det noe lavere pH enn ellers, og de laveste målte verdiene har vært 5,2.

Det ble målt en god del sulfid og det var reduserende forhold i grunnen da det ble tatt jordprøver i 2012, se Figur 8. Sensordata som er samlet inn f.o.m. 2019, viser at redokspotensialet ikke ligger stabilt innen området der de reduserende forholdene er optimale for sulfidproduksjon. Sammen med den stadige innlekkingen av oksygen, viser dette at bevaringsforholdene for organisk materiale er ustabile.

Ledningsevnen var relativt høy i 2012, dvs. i området 2000 – 3100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. For online-sensorene som ble installert i 2019, så viste målingene stort sett verdier i området 0 – 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ frem til begynnelsen av 2021. Deretter har nivåene økt opp mot 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Til sammenligning har sjøvann ledningsevne på ca 50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.) Dette kan tyde på en økning i oppløsning av uorganisk materiale og dermed noe forverring i bevaringsforholdene for uorganisk materiale. Økningen i ledningsevne har ikke virket inn på pH.

Jordprøvene som ble tatt i 2012 viste stort sett bra forhold mht. bevaring av organisk materiale, mens forholdene for bevaring av uorganisk materiale derimot varierte mellom middels til elendig for jordprøvene som ble tatt i 2012 (Bergersen 2014).

Basert på sensordata kan det derfor konkluderes med at bevaringsforholdene er noe forverret for miljøbrønn B1. En teori er at dette kan skyldes nærheten til en dyp grøft i gaten. Vi vil derfor følge ekstra nøye med på måledata fra dette overvåkingspunktet fremover for å vurdere om det eventuelt vil være behov for avbøtende tiltak og i så fall hvilke.

10.2 Miljøprofil B2

Figur 10 viser sensordata for miljøprofil B2. Temperaturen har variert mellom ca 21°C og 5°C. De grunneste sensorene viser størst variasjon og følger variasjonen i overflatetemperatur som følge av årstidene. Figuren viser også temperaturer og nedbør for værstasjonen i Bergen. Den grunneste

sensoren (2298 som befinner seg 4,103 moh) varierer mellom 5°C og 21°C, mens den dypeste sensoren (4339 som er 2,220 moh) varierer mellom 7,5°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 2021, og har stabilisert seg på 50-51%. De grunnere sensorene (3384 og 2717) viser større variasjon og følger stort sett nedbørsmønsteret fra værstasjonen i Bergen. Disse ligger også litt høyere i metning, dvs. på 56-63%.

Oksygenkonsentrasjonen i profilen har vært meget varierende, fra 3 til 19 % det siste året. Rett etter installasjonen i 2018 ble det målt noe høyere, opp til 23%. Det er nå kun en sensor som måler oksygen, og det er den grunneste sensoren (2298). Verdiene ligger noe høyere om sommeren (ca 17%) sammenlignet med vinteren (ca 9%).

Redoks-verdiene har vært varierende, men etter sensommeren 2019 har alle sensorene stabilisert seg på reduktive forhold på rundt -350 mV. Den dypest liggende av redoks-sensorene ligger på 3,441 moh. og har tydeligvis lavere oksygeninnhold enn oksygensensoren som ligger på 4,103 moh.

pH var noe ustabil ved oppstart i 2018, men har stabilisert seg og ligger nå på 6-7. Sensor 4098 har hatt større utslag i målingene etter september 2020, men ligger fremdeles innen akseptabelt nivå. 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, men begge har hatt en svak økning i februar 2021 til henholdsvis 40 og 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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 20-30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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 av mindre innsig av overvann. Dette samsvarer også med de reduserende forholdene som vises i redoks-målingene.

Det kan derfor konkluderes med at bevaringsforholdene stort sett er stabile og uendret i forhold til utgravningstidspunktet.

10.3 Miljøbrønn B3

Figur 11 viser sensordata for miljøbrønn B3. Temperaturen har variert mellom 6°C og 13°C og følger stort sett variasjonen av overflatetemperatur målt på værstasjonen til Bergen sentrum. Vannstanden har vist en variasjon mellom 1,0 og 3,0 m fra toppen av brønnen og har omtrent fulgt nedbørsmønsteret for værstasjonen i Bergen, dvs. det er et visst innsig av overvann. Det kom en generell økning av vannstanden i juni 2020 fra 1,0-1,5 moh. til 1,5-3,0 moh.

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 oksiderende forhold. Den store variasjonen i både oksygen- og redoks-målinger viser at det er lav stabilitet i vannet.

pH-målingene viser også en synkende tendens over måleperioden fra ca 7,4 til 5,5 før sommeren 2020, for så å hoppe opp til 6,6 som den har ligget på fram til mars 2021. 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 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fram til oktober 2020. Deretter skjedde det noe i grunnen som har ført til en økning i ledningsevne opp til 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i november 2020. Siden da har nivået vært synkende frem til mars 2021, da sensoren viser ca 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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 O₂ og redoks målinger. Et nytt brønnlokk ble installert den 31. januar 2019. Integritet rundt toppen av brønnen har vært bra siden da, dvs det har holdt tett. Det er variasjoner i dataene, men det vises hovedsakelig oksiderende 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. Dette punktet vil derfor fremover bli overvåket ekstra nøye for å vurdere om det bør igangsettes avbøtende tiltak, og i så fall hvilke.

11 Miljøovervåkingspunkt i Tønsberg

Middelalderbyen Tønsberg (id 10570) med Slottsfjellet omfatter ca. 44 hektar (441 177,50 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 og umettet sone samt i fluktuasjonssonen. Bevaringsforholdene er varierende, og bevaringstilstanden er lite undersøkt. Vi har for lite kunnskap om grunnvannet i Tønsberg, men det antas å synke. Siden dette kan medføre forandring i bevaringsforhold har dette overvåkingsprosjektet blitt etablert. Se Tabell 12 for oversikt over gjennomførte aktiviteter.

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 (TO1) med installert multisensor koblet til datalogger i Møllegaten, Tønsberg, omtrent midt mellom Storgaten og Øvre Langgate. Logistiske utfordringer med utrolige mengder av nedgravde rør og ledninger i det aktuelle området førte dog til noen forsinkelser. 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.

Isteden skal dette utstyret installeres i Storgaten 48 (TO3) i løpet av våren 2021. Denne brønnen ble boret i 2006 i forbindelse med Riksantikvarens 'Peleprosjekt'. Da installasjon ikke er utført på rapporteringstidspunktet, blir dette en del av neste års statusrapport.

I Nedre Langgate 40 ble tidligere boret poretrykksbrønner i trapp (TO2) i forbindelse med hotellbyggingen der. Her skal det også monteres overvåkingsutstyr våren 2021. Fra 1999 og fram til og med 2007, ble det foretatt dataauthenting manuelt på dette stedet (se også Reed & Martens 2008). Da installasjon ikke er utført på rapporteringstidspunktet, blir dette en del av neste års statusrapport.

Tabell 12. Aktivitetene ifm. installasjoner i Tønsberg. De grå cellene er tidligere rapportert av Martens m.fl. (2020).

Dato	Lokalitet	Aktivitet / Hendelse
6. januar 2020	TO1	Boring og prøveuttak i TO1
16. oktober 2020	TO2a; TO3	Befaring utført av Cautus og NIKU for vurdering av instrumentering av eksisterende brønner

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 12).

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, flettverksgjerder 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 12). Brønnen ble boret den 6. januar 2020. Det ble tatt prøver av NIKU i forbindelse med boringen av brønnen.



Figur 12. 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 13).



Figur 13. 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 rotasjon, 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 14 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 14). 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 overvåkingpunktet TO1. Utstyret som var planlagt brukt i overvåkingpunkt TO1 vil bli benyttet i et annet overvåkingpunkt i Tønsberg, TO-3, og installert 2021. Det er gjort avtale med kommunen om plassering av loggerskap på lyktestolpe.

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 13. 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	Mørkebrun 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 (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 fuktige. 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 14. 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

¹ SOPS state of preservation scale NS9451:2009

13 Resultater av jordkjemiske analyser – Tønsberg

13.1 Resultater fra TO1

Det ble ikke tatt ut nye jordprøver fra Tønsberg i 2020 etter statusrapport for 2020. Resultatet fra de to jordprøvene som ble tatt ut i januar 2020 er tidligere rapportert i statusrapporten for 2020, men er også gjengitt under.

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 toverdige jern/oksidert 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 redusert jern (Fe^{3+}).

Det er middels innhold av både organisk stoff og vann i prøvene. Den dypeste prøven inneholdt mest nitrat (NO_3), mens den grunneste inneholdt mest ammonium (NH_4). 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 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 oksiderende påvirkning.

Tabell 15. Analyseresultater for jordprøvene tatt fra TO1 miljøprofil.

Prøve (moh)	pH	Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (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)	Tot-Fe (mg/kg TS)	Fraksjon <5mm (% w/w)	Tørrstoff (%)	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






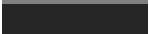


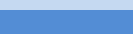

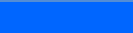
Tabell 16. Vurdering av bevaringstilstand i prøvene fra TO1 basert på NS 9451:2009.

Prøve	MOH (m)	Organisk innhold (%)	Vanninnhold (%)	pH	Ledningsevne $\mu\text{S}/\text{cm}$	Bevaring			
						Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redokstilstand	Arkeologisk tilstand
TO1 Lag 3	11,027	12,8	44,3	6,9	41	Dårlig	Dårlig	Oksiderende	A3
TO1 Lag 5	9,947	10,3	37,7	6,5	38	Middels	Dårlig	Reduserende	A3

* prøvehøyde ikke målt

** Ingen sulfidanalyser av prøven

*** Svært lav sulfid

	Lavt organisk innhold 10%		Elendig til dårlig
	Middels organisk innhold 10-20%		Middels
	Høyt organisk innhold >30%		Bra til utmerket
	Lavt vanninnhold 10-20%		Oksiderende
	Middels vanninnhold 30-40%		Reduserende
	Høyt vanninnhold > 50%		

*

Bevaring: NS 9451:2009

14 Konklusjoner av miljøovervåkingsundersøkelsene i Bergen og Tønsberg

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. Sammenlignet med resultatene fra jordprøver tatt i 2012, viser sensordata at bevaringsforholdene er noe forverret for B1.

Data fra jordprøvene og fra sensorene i overvåkingspunkt **B2** viser at situasjonen i 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.

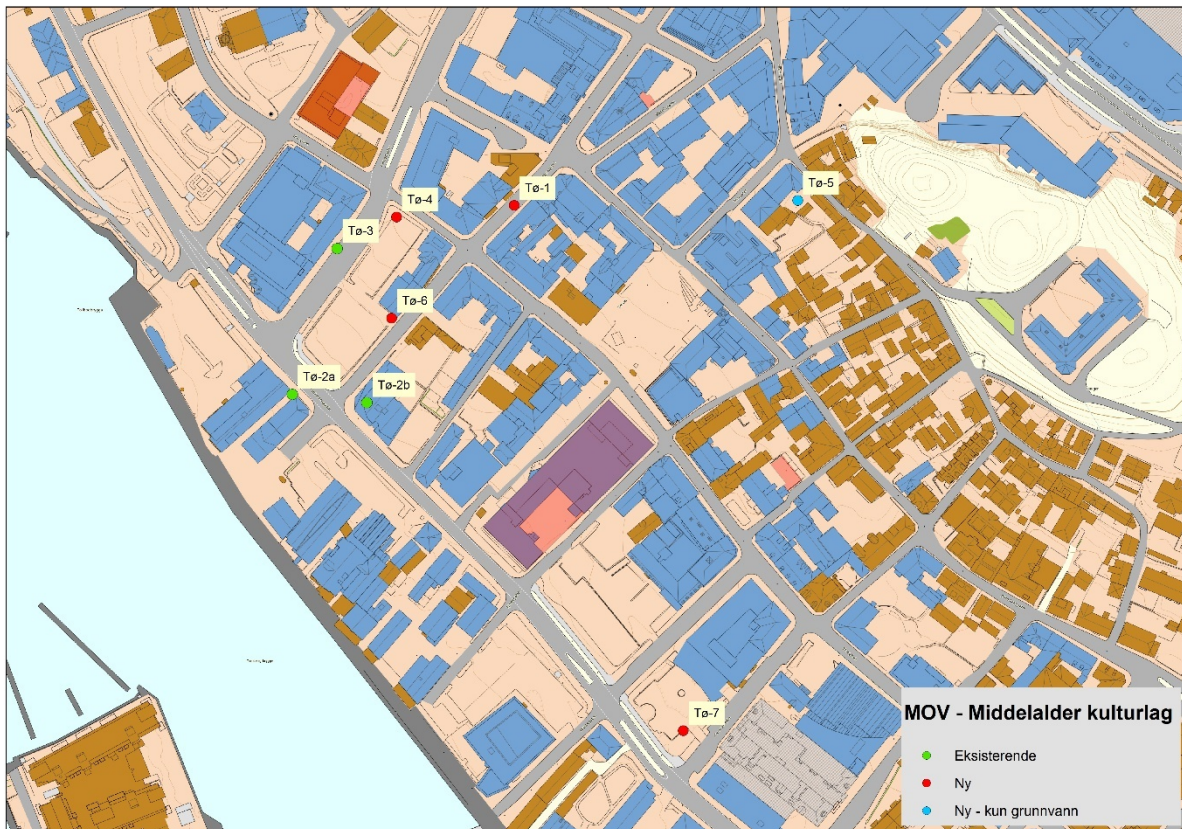
Miljøbrønn **B3** viser meget varierende verdier. Det var opprinnelig mistenkt at dette hovedsakelig skyldtes en sprekke i brønnlokket. Brønnlokket ble erstattet, men det er ennå en del variasjon i verdiene. Dette må skyldes tilsig av vann fra andre områder mot brønnen.

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 < 5 mm kommer fra sand / jordsmonn og ikke fra direkte nedbrytning av organisk innhold i lagene.

Det ser ut som om overvåkingspunktene B1 og B3 har litt ustabile bevaringsforhold, mens overvåkingspunktet B2 stort sett er stabil og uendret siden utgravningstidspunktet. Det er ikke vurdert avbøtende tiltak, men vi vil følge tettere med på de to brønnene.

14.2 Tønsberg

Det ble gjort forsøk på å installere brønnen **TO-1** i Tønsberg i januar 2020, 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. Utstyret beregnet for TO-1 vil bli benyttet i eksisterende miljøbrønn **TO-3**, og samtidig vil også piezometerbrønn **TO-2a** instrumenteres (se Figur 15). Planlagt utførelse våren 2021. Dette arbeidet vil bli rapportert i neste års statusrapport.



Figur 15. Kart over planlagte og eksisterende overvåkingspunkter i Tønsberg

Det ble 16. oktober 2020 utført en befaring for å sjekke tilgjengelighet og tilstand til de eksisterende overvåkingspunktene TO-2a og TO-3 i hhv Nedre Langgate 40 og Storgaten 48 i Tønsberg. Befaringen ble utført av Sunniva Wilberg Halvorsen, Vibeke Vandrup Martens (NIKU) og Mike Voellmecke (Cautus Geo). Se Figur 16 og Figur 17



Figur 16. Piezometerbrønn TO-2a, Nedre Langgate 40, Tønsberg. Foto VVM/NIKU.



Figur 17. Miljøbrønn TO-3, Storgaten 48, Tønsberg. Foto VVM/NIKU

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.

Martens, V.V., Hovd, L, Dunlop, A.R., Olsen, S.B., Henninge, L.B. og Voellmecke, M. (2020): Statusrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1 pr 31. mars 2020. Middelalderbyene Bergen og Tønsberg. **NIKU rapport** 99. 68s.

Reed, Ian; Martens, Vibeke Vandrup 2008. Preservation Capacity of Urban Archaeological Deposits Beneath Modern Buildings in Norway. **Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies** 2008; Volum 10. s. 265-272.

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

16 Vedlegg 1. 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 Gjenstandsbaser, 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

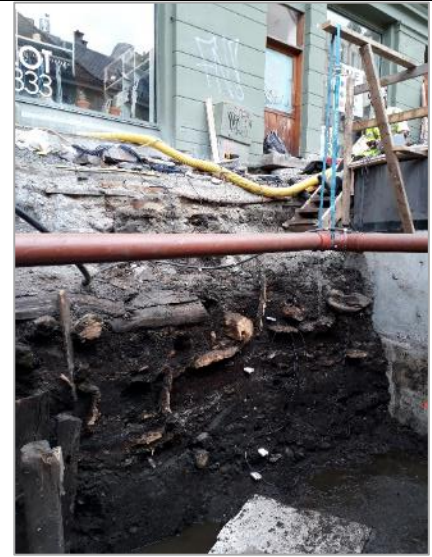


20180704_130548

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

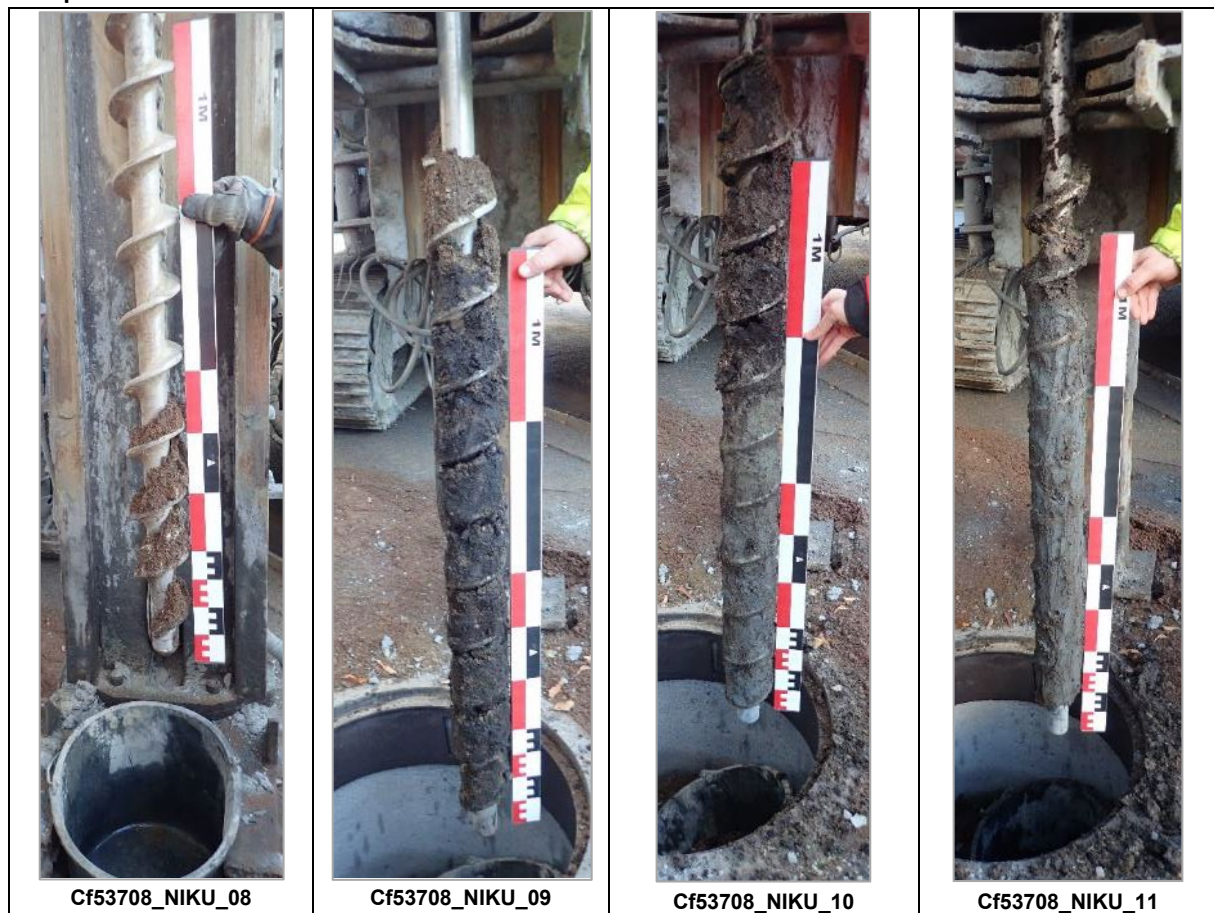


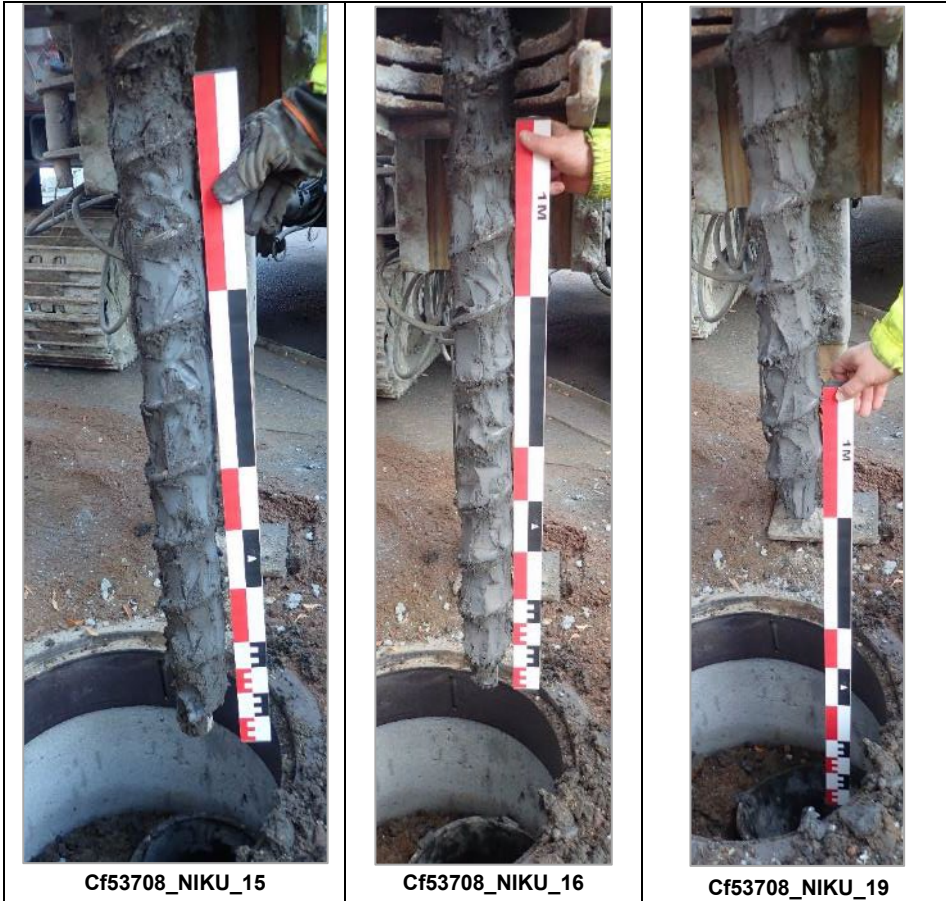
Bf30035_NIKU_0012

16.3 Fotoliste TO1

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

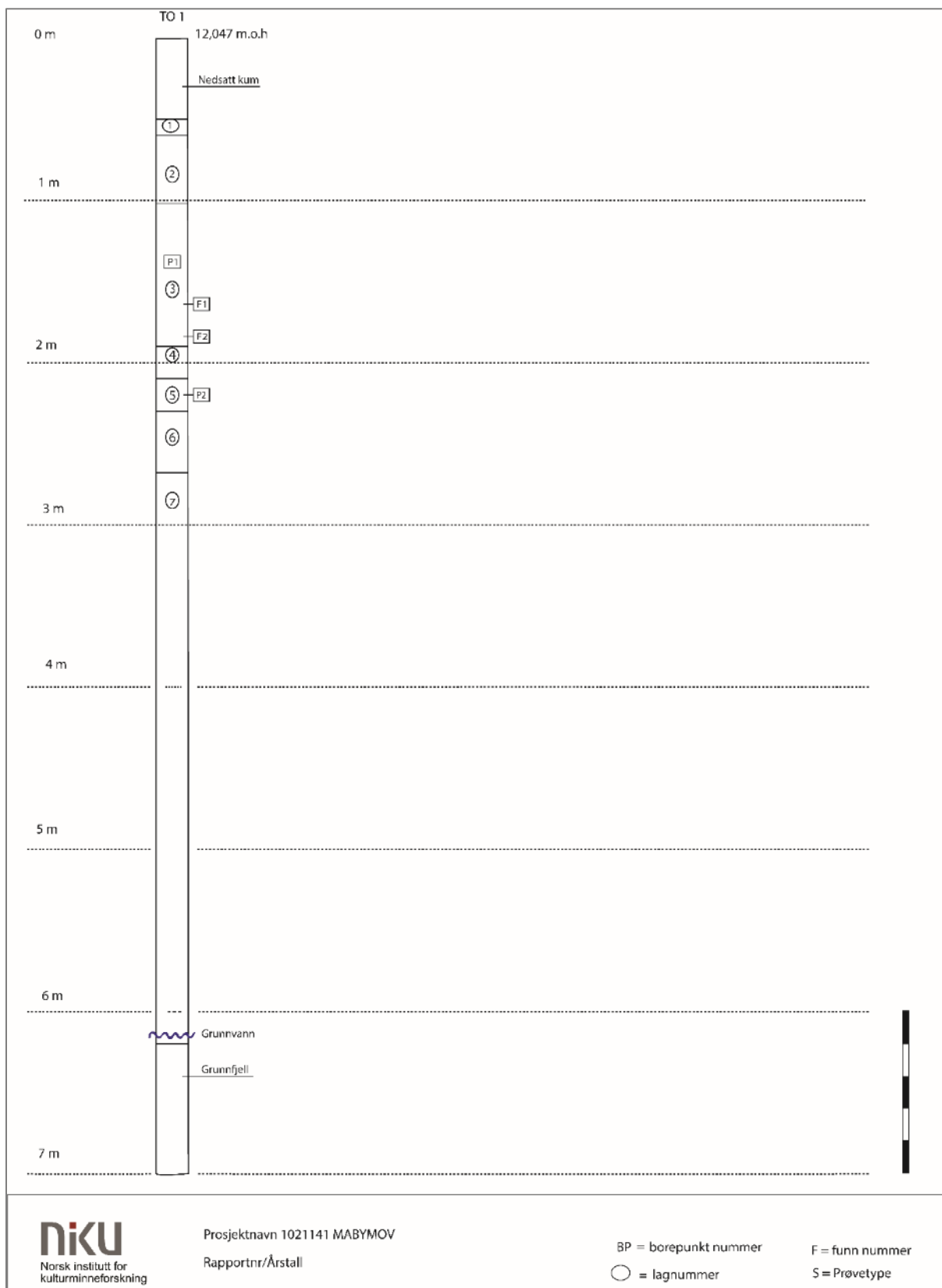
Borepunkt 1021141 TO1 foto





Borepunkt 1021141 TO1

Figur 18. Tegning av borepunkt TO1



17 Vedlegg 2

- 1) NIKU faktaark kulturlagssikring
- 2) Figur 19 stort format av figur 5; profil i Kong Oscars gate, foto og tegning v/ NIKU. Markering av sonder v/ COWI.

17.1 NIKU faktaark kulturlagssikring

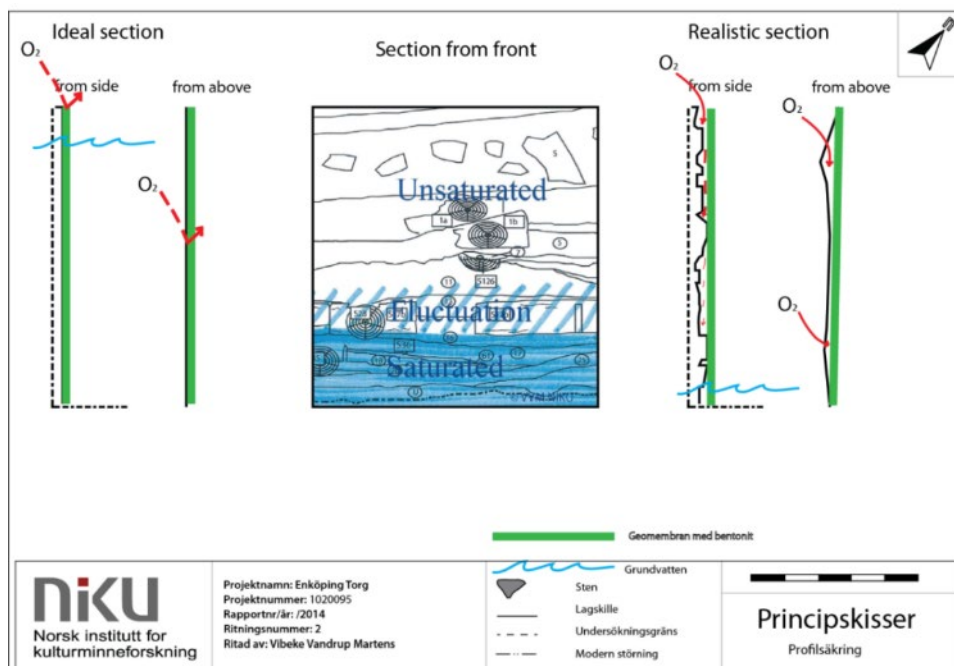
niku faktaark kulturlagssikring

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.



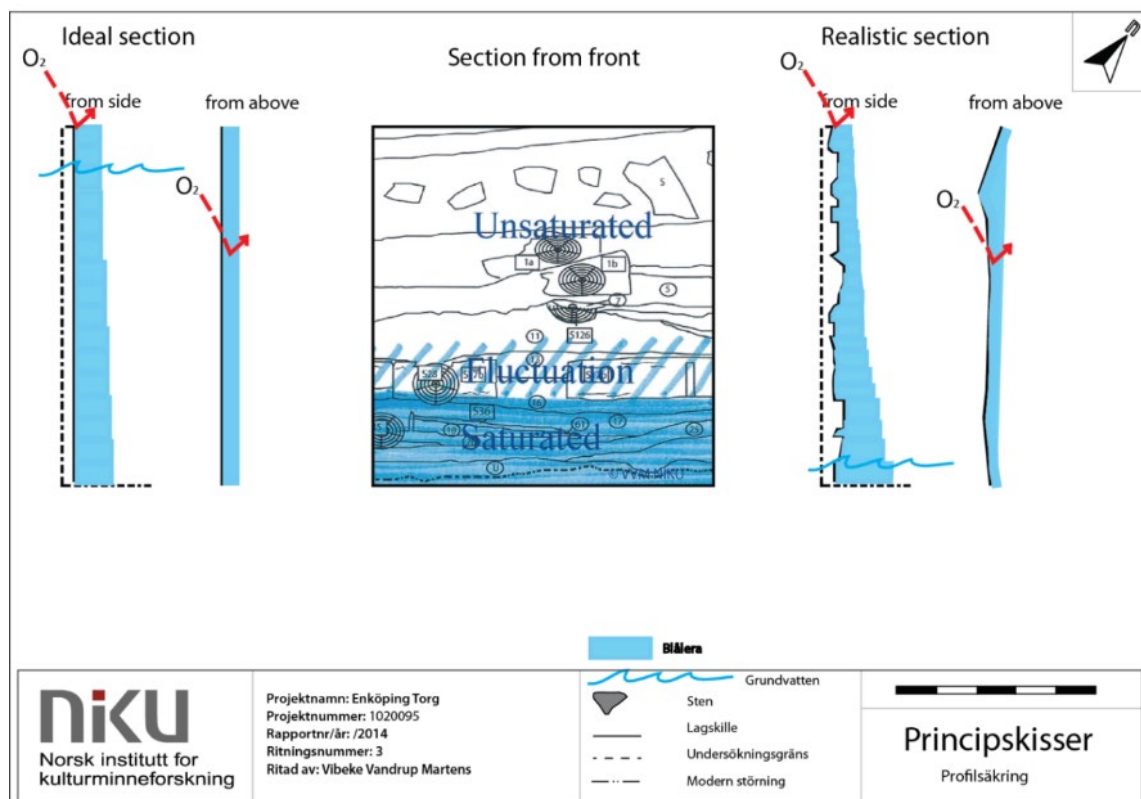
Tegning 1: En profil med pålagt geomembran. Om profilveggen er rett, og det er høy grunnvannstand, fungerer det bra. Om det er ujevne flater er det stor risiko for at oksygen kan trenge inn bak matten.

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: setningskader på bygninger, gater og infrastruktur.

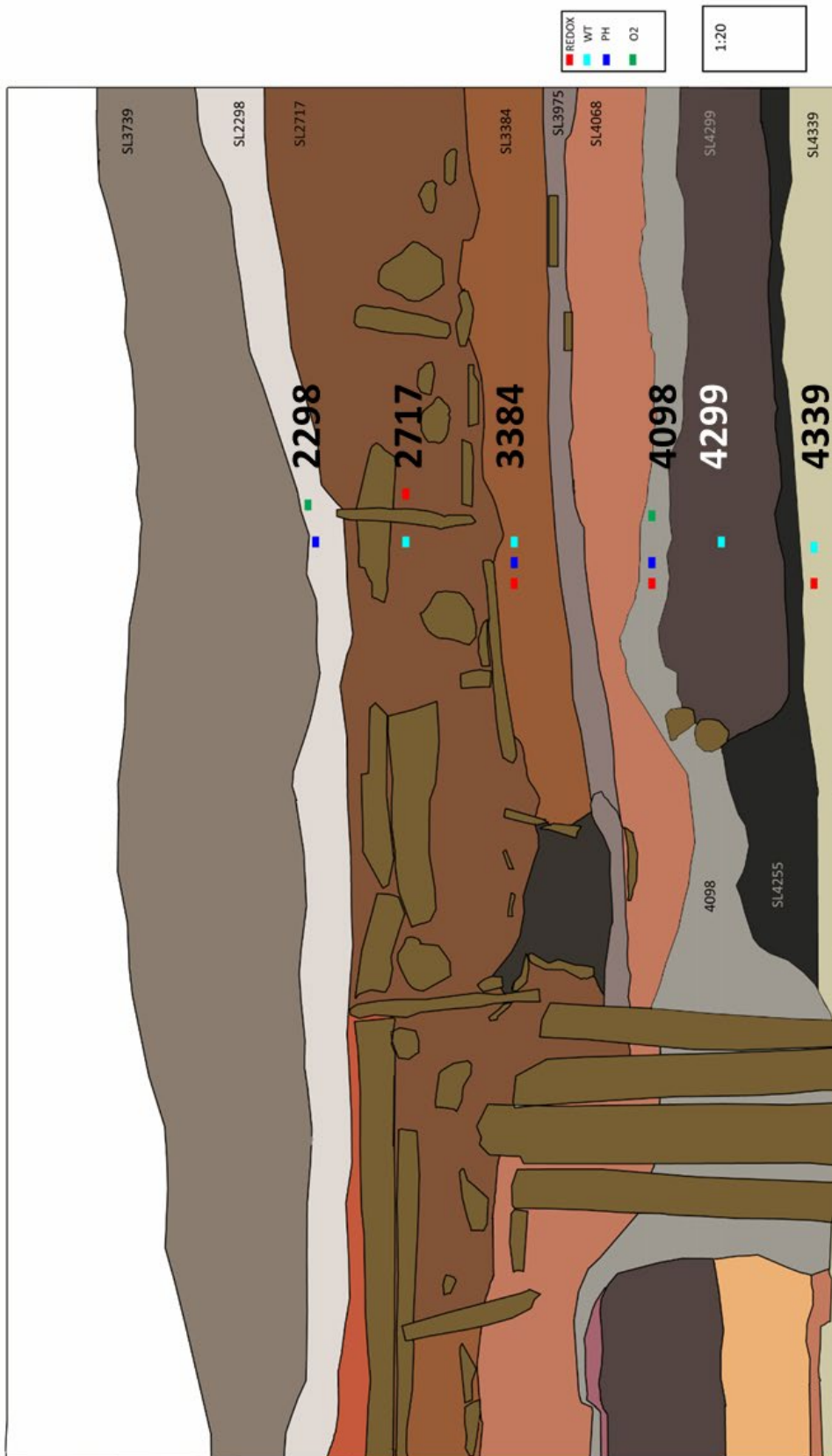


Tegning 2: En profilvegg med leire lagt helt inn til veggen og pakket inn mellom ujevnhetene i overflaten.

17.2 Figur 5 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 106

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