

KARTLEGGING OG ANALYSE AV MILJØOVERVÅKINGSPROSJEKTER I TØNSBERG, BERGEN, OSLO OG TRONDHEIM 2010-2021

IN SITU-BEVARING OG BYGGING PÅ KULTURLAG I
MIDDELALDERBYENE. NASJONALE OPPGAVER POST 5 2021





Tittel KARTLEGGING OG ANALYSE AV MILJØOVERVÅKINGSPROSJEKTER I TØNSBERG, BERGEN, OSLO OG TRONDHEIM 2010-2021 IN SITU-BEVARING OG BYGGING PÅ KULTURLAG I MIDDELALDERBYENE. Nasjonale oppgaver post 5 2021	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 114	Publiseringsdato 14.01.2022
	Prosjektnummer 1022010	Sider 168
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Sunniva W. Halvorsen, Line Hovd og Vibeke Vandrup Martens	ISSN 1503-4895 ISBN 978-82-8101-259-2	Periode gjennomført 2021
	Forsidebilde Munkhaugveita 5–7, Trondheim. Foto: niku_ark_338278	

Prosjektleder Vibeke Vandrup Martens
Prosjektmedarbeider(e) Sunniva Wilberg Halvorsen, Line Hovd
Kvalitetssikrer Rory Dunlop

Finansiert av Klima og miljødepartementet. 2021 tilskudd over kap. 1410, post 70, Nasjonale oppgaver
--

Sammendrag For å kunne videreutvikle bruken av miljøovervåking av kulturlag (MOV) som verktøy i forvaltningen av middelalderbyene og som vilkår i dispensasjonsvedtak for utgravninger eller utbygningssaker, har NIKU kartlagt, sammenstillet og analysert resultatene fra utvalgte overvåkingsprosjekter som pågår eller er avsluttet i perioden 2010–2021.
Abstract In order to enhance the development of archaeological deposit monitoring as a tool in the management of Norway's medieval cities and as an element in conditions included in dispensations issued by the authorities for excavation works and other interventions, NIKU has carried out a survey of monitoring projects (both active and completed) covering the period 2010-2021 and has analyzed and collated the results.

Emneord Miljøovervåking; MOV; kulturlag; middelalderby; Tønsberg; Bergen; Oslo; Trondheim
Keywords Environmental monitoring; archaeological deposits; medieval towns; Tønsberg; Bergen; Oslo; Trondheim

Avdelingsleder
 Lise-Marie Bye Johansen

Forord

Klima- og miljødepartementet ga i 2021 NIKU tilskudd over kap. 1410, post 70, til nasjonale oppgaver.

Formålet med tilskuddet til nasjonale oppgaver er å sørge for at instituttet har ressurser til faglig rådgivning til miljøforvaltningen, til deltakelse og faglig støtte for kulturminneforvaltningen i internasjonale organer ved behov, informasjons- og opplysningsarbeid overfor forvaltning, kvalitetssikring av data og andre oppgaver der kulturminneforvaltningen har konkrete behov. Denne rapporten omfatter deler av 2021 bevilgningen:

In situ-bevaring av og bygging på kulturlag i middelalderbyene, kr. 710.000

1. Hensikten med oppgaven

Sammenstille resultatene fra og analysere lokale variasjoner i bevaringstilstand og -forhold der det er stilt vilkår om overvåking i forbindelse med tillatelser til inngrep i og bygging på kulturlag i middelalderbyene. Analysen skal sikre forvaltningen et oppdatert kunnskapsgrunnlag for vurdering av in situ-bevaring kontra behov for undersøkelser ved tiltak som berører middelalderiske kulturlag.

2. Hva oppgaven skal omfatte

For å videreutvikle bruken av MOV som virkemiddel i forvaltningen av middelalderbyene og som vilkår i dispensasjonsvedtak, skal NIKU kartlegge, sammenstille og analysere resultatene fra utvalgte overvåkingsprosjekter som pågår eller er avsluttet. Alle oppgavene inkludert i posten er nye. Oppgavene skal startes, gjennomføres og avsluttes 2021:

1. Kartlegge, sammenstille og analysere generelle utviklingstrekk vi ser i måleseriene som påvirker muligheten til langsiktig bevaring.
2. Kartlegge, sammenstille og analysere repeterende forhold og vurdere om disse utgjør en trussel.
3. Kartlegge, sammenstille og analysere lokale variasjoner i bevaringstilstand som observeres innenfor et område der bevaringsforholdene ellers er like.
4. Kartlegge, sammenstille og analysere bruken av avklarende undersøkelser og beskrive behov for eventuelle endringer.

3. Forventede resultater

Analysen skal bidra til å gi forvaltningen et oppdatert kunnskapsgrunnlag som skal brukes til å justere kurs dersom analysen tilsier dette og til å revidere eksisterende veiledningsmateriell, som for eksempel veilederen for bygging på kulturlag (Byggforskserien 721.305, 2010).

Definisjoner

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

Aerobe forhold: Forhold der luft (oksygen) er til stede. Ved aerobe eller oksiderende 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.

Fluktueringszone: Lag som tidvis ligger over grunnvannsstand, tidvis dekket av grunnvann.

Mettet zone: Lag som permanent ligger dekket av grunnvann.

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. Oksiderende forhold indikerer at aktiv nedbrytning pågår.

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.

Umettet zone: Lag som permanent ligger over grunnvannsstand.

Innhold

KARTLEGGING OG ANALYSE AV MILJØOVERVÅKINGSPROSJEKTER I TØNSBERG, BERGEN, OSLO OG TRONDHEIM 2010-2021	1
IN SITU-BEVARING OG BYGGING PÅ KULTURLAG I MIDDELALDERBYENE. NASJONALE OPPGAVER POST 5 2021.....	1
1 Innledning og bakgrunn	13
1.1 Rapportens struktur og innhold	13
1.2 Analyseparametere kulturlag.....	14
1.3 Beskrivelse av bevaringsforhold.....	14
2 Gjennomgang av miljøovervåkingsprosjekter/-programmer: generelle utviklingstrekk.....	17
2.1 Tønsberg	17
2.1.1 Anders Madsens gate MOV	20
2.1.2 Nedre Langgate 43.....	21
2.1.3 Storgaten 27	24
2.1.4 Storgaten fjernvarme MOV.....	26
2.1.5 Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1	28
2.1.6 Storgaten 30–32 City Shopping / Tønsberg Torv / Foyn Kjøpesenter	29
2.1.7 Foynkvartalet	32
2.1.8 MOV-program for Tønsberg / MABYMOV.....	33
2.1.9 Samlet oppsummering for Tønsberg.....	34
2.2 Bergen	35
2.2.1 Vågsbunnen.....	37
2.2.2 Bryggen	45
2.2.3 Umettet sone og fluktuasjonszone	67
2.2.4 Samlet oppsummering for Bergen.....	73
2.3 Oslo	74
2.3.1 Peleprosjektet	74
2.3.2 Midgardsormen.....	77
2.3.3 DEG-prosjektet	80
2.3.4 Follobanen MOV.....	84
2.3.5 Samlet oppsummering for Oslo	106
2.4 Trondheim.....	107
2.4.1 Schultz gate – Presidentveita	109
2.4.2 Peter Egges plass og Rådhusallmenningen – grunnvannsundersøkelse.....	113
2.4.3 Søndre gate 7–11	116
2.4.4 Erling Skakkes gate 3–5.....	124
2.4.5 Munkhaugveita 5–7	128
2.4.6 Samlet oppsummering for Trondheim	132
3 Repeterende forhold i måleseriene	133
3.1 Tønsberg	133
3.1.1 Anders Madsens gate MOV	133
3.1.2 Nedre Langgate 43.....	133
3.1.3 Storgaten fjernvarme MOV.....	134
3.1.4 Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1	135
3.1.5 Storgaten 30-32.....	135
3.1.6 Storgaten 27	136
3.1.7 Foynkvartalet	136
3.1.8 Oppsummering Tønsberg.....	137
3.2 Bergen	137
3.2.1 Vågsbunnen.....	137
3.2.2 Kong Oscars gate.....	137
3.2.3 Nedre Korskirkeallmenningen	138
3.2.4 Vågsbunnen MOV	138
3.2.5 MABYMOV Vågsbunnen	138
3.2.6 Bryggen	139
3.2.7 Oppsummering Bergen	140
3.3 Oslo	140
3.3.1 Peleprosjektet Oslo gate 6.....	140
3.3.2 Midgardsormen.....	141

3.3.3	DEG-prosjektet	141
3.3.4	Follobanen MOV	142
3.3.5	Oppsummering Oslo	143
3.4	Trondheim	143
3.4.1	Schultz gate – Presidentveita	143
3.4.2	Peter Egges plass (Søndre gate 7–11) / Rådhusallmenningen	144
3.4.3	Søndre gate 7–11	144
3.4.4	Erling Skakkes gate 3–5	145
3.4.5	Munkhaugveita 5–7	145
3.4.6	Oppsummering Trondheim	145
3.5	Vurdering	145
4	Lokale variasjoner i bevaringstilstanden	147
5	Vurdering av bruken av avklarende undersøkelser	148
5.1	Miljøovervåkingsprogram ved Erling Skakkes gate	148
5.2	Anders Madsens gate MOV – forundersøkelse ved boring og sjakting	149
5.3	Vurdering	150
6	Videre betraktninger om bygging på kulturlag og <i>in situ</i> bevaring	151
7	Litteratur	152
7.1	Litteratur; Tønsberg	152
7.2	Litteraturliste; Bergen	155
7.3	Litteraturliste; Oslo	161
7.4	Litteraturliste; Trondheim	162
8	Koordinatliste	164

Figurer

Figur 1: Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser. Stabile negative redoksforhold (anaerobe forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag (Madigan & Martinko 2006).	15
Figur 2: Kart over aktive miljøovervåkningsprogrammer i Middelalderbyen Tønsberg. Kart: NIKU.	19
Figur 3: Kart over aktive miljøovervåkningsprogrammer i Middelalderbyen Bergen. Kart: NIKU.	36
Figur 4: Romlig fordeling av de fire grunnvannssonene A-D. Område E ligger lenger sørøst, ved Det Hanseatiske Museum (Figur hentet fra Matthiesen 2016).	52
Figur 5: Kart over miljøbrønner på Bryggen, hentet fra Matthiesen 2016.	56
Figur 6: Kart over miljøovervåkningsprogrammer i Middelalderbyen Oslo. Kart: NIKU.	75
Figur 7: Kjemiske og fysiske forhold i prøver hentet fra Kasse 1 Klypen øst Vollgrav etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.	86
Figur 8: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 2 Klypen Øst Kirkegård etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.	87
Figur 9: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 3 Arkeologigropa etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.	88
Figur 10: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 4 Arkeologigropa etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.	89
Figur 11: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 5 Arkeologigropa etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.	91
Figur 12: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 6 Klypen vest etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.	92
Figur 13: Analyse av bevaringsforhold Follobanen Punkt 1 (Arkeologigropa) og 2 (Saxegaardsgt 15).	93
Figur 14: Analyse av bevaringsforhold Follobanen nytt Punkt 1.	94
Figur 15: Jordtemperatur målt i 6 ulike kulturlag fra profilen i fra Saxegaardsgata 15 sammenstilt med middel utetemperatur per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til sept. 2020.	95
Figur 16: Oksygeninnhold i porevolum (over) og redokspotensialet (under) målt i ulike kulturlag på kirkegården ved Saxegaarden sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til sept. 2020.	96
Figur 17: Punktdiagram og korrelasjon mellom målt redokspotensialet og innhold av oksygen i umettet profil fra to ulike kulturlag koter ved Saxegaardsgata 15 og Arkeologigropa 2016-2017. Ved Saxegaardsgata viser hovedtyngden av redoksverdiene +600 til +800 mV og oksygenverdier på 12 til 18 Vol %. Ved Arkeologigropa viser målingene forskjellig forhold i øvre og nede del av profilen. Hovedtyngden av verdiene fra +300mV og oppover viser høyere oksygenverdier på 12 til 18 Vol % i øvre del, mens dypere kulturlag med negative redoksverdier fra -75 mV og ned til -200 mV viser hovedtyngde av oksygen målt mellom 0,1 til 0,2 Vol %.	97
Figur 18: Jordtemperatur målt i 6 ulike kulturlag fra profilen i fra Arkeologigropa ny profil sammenstilt med middel utetemperatur per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden mai 2019 til sept. 2020.	98
Figur 19: <u>Jordfuktighet målt i fem ulike kulturlag ved Arkeologigropa sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til juni 2017.</u>	99
Figur 20: Jordfuktighet målt i 6 ulike kulturlag ved Arkeologigropa ny profil sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden mai 2019 til mai 2021.	100
Figur 21: Oksygen målt i tre ulike kulturlag fra profil Arkeologigropa 2016-2017 sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til juni 2017.	101
Figur 22: Redokspotensialet, oksygen og jordfuktighet målt i kulturlag fra ny profil Arkeologigropa 2019 sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden mai 2019 til sept. 2020.	102
Figur 23: Punktdiagram og korrelasjon mellom målt redokspotensialet og innhold av oksygen i umettet profil fra to ulike kulturlag ved Arkeologigropa ny profil fra mai til sept.2020. Øvre og nede del av	

profilen viser begge reduserende forhold og lave Vol % oksygen. Hovedtyngden av verdiene på redokspotensialet ligger under -50mV. Vol % oksygen ligger på 1.3-1,5% i øvre kulturlag, mens nedre kulturlag viser oksygen innhold på 0.3-0.4 Vol %.	103
Figur 24: Redokspotensialet målt i kulturlag i hhv. gammel og ny profil Arkeologigropa sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i periodene juni 2016 til juni 2017 og mai 2019 til mai 2021.	104
Figur 25: Kart over miljøovervåkningsprogrammer i Middelalderbyen Trondheim. Kart: NIKU.	108
Figur 26: Bevaringsforhold illustrert for Profil Nord og Profil Sør etter jordkjemiske analyser (Bergersen & Petersén 2013).	110
Figur 27: Bevaringsforhold illustrert for perioden 2019 og 2020 (Voellmecke et al. 2020).	125
Figur 28: Måledata av temperatur fra Erling Skakkes gate MP3 for perioden juli til september 2021. Dataplott: Cautus Geo / COWI.	127
Figur 29: Måledata av temperatur fra Erling Skakkes gate MP2 for perioden juli til september 2021. Dataplott: Cautus Geo / COWI.	127
Figur 30. Regnbed og infiltrasjonsbed ved Bryggen. Foto: ARD/NIKU 2021.	140

Tabeller

Tabell 1: Oversikt over analyseparametere i gruppene S1 og S2.....	14
Tabell 2: Skala som angir bevaringstilstanden i kulturlag, i henhold til Norsk Standard NS 9451:2009.	14
Tabell 3: Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jord under forskjellige redoksforhold og bevaringsforhold i kulturlag.....	16
Tabell 4: Miljøovervåkningsprogrammer i Tønsberg perioden 2010–2021.....	17
Tabell 5: Rapporter fra Anders Madsens gate MOV.....	20
Tabell 6: Sammenstilling av måledata fra juni 2013 – august 2014 (Bergersen 2014a).	21
Tabell 7: Rapporter fra Nedre Langgate 43.....	22
Tabell 8: Sammenstilling av måledata fra 2008–2012 (Bergersen 2013a).	23
Tabell 9: Resultater av jordkjemiprøver i 2007 og 2013, Storgaten 27.....	25
Tabell 10: Rapporter fra Storgaten 27.....	25
Tabell 11: Rapporter fra Storgaten fjernvarme MOV.....	26
Tabell 12: Sammenstilling av måledata fra Storgaten fjernvarmegrøft og referansegrøft (Bergersen 2015c).....	26
Tabell 13: Rapporter fra Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1.....	28
Tabell 14: Sammenstilling av måledata fra Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1.....	28
Tabell 15: Rapporter fra Storgaten 30–32 City Shopping / Tønsberg Torv / Foyn Kjøpesenter.....	30
Tabell 16: Sammenstilling av måledata fra Storgata 30–32.....	30
Tabell 17: Rapporter fra Foynkvartalet.....	32
Tabell 18: Sammenstilling av måledata fra Foynkvartalet.....	32
Tabell 19: Rapporter fra MABYMOV Tønsberg.....	33
Tabell 20: Miljøovervåkningsprogrammer i Bergen.....	35
Tabell 21: Rapporter fra Kong Oscars gate grunnboringer perioden 2010–2017.....	37
Tabell 22: Sammenstilling av måledata fra 2012–2017 (Bergersen 2017).	38
Tabell 23: Rapporter fra Nedre Korskirkeallmenningen og Torget.....	40
Tabell 24: Sammenstilling av måledata fra Nedre Korskirkeallmenningen og Torget, fra brønner som inkluderte flere parametere enn kun grunnvannstand.....	40
Tabell 25: Kjemisk sammensetning av grunnvannsprøver – hovedstoffer (i mg/l unntatt EL i mS/cm, og pH).	40
Tabell 26: Kjemisk sammensetning av grunnvannsprøver-redoks (mg/l unntatt redoks).	41
Tabell 27: Endring i vannkvaliteten over tid (to prøver) i KOGTMB1 og KOGTMB2.	41
Tabell 28: Rapporter fra Vågsbunnen MOV.....	42
Tabell 29: Sammenstilling av måledata fra Vågsbunnen MOV.....	42
Tabell 30: Rapporter fra MABYMOV Vågsbunnen.....	43
Tabell 31: Sammenstilling av måledata fra MABYMOV Vågsbunnen.....	43
Tabell 32: Grunnvannsprøver fra brønner på Bryggen 2015 (Matthiesen 2016).	50
Tabell 33: Grunnvannsprøver fra brønner på Bryggen 2011 (Matthiesen 2012).	51
Tabell 34: Sammenstilling av måledata.....	54
Tabell 35: Sammenstilling av måledata.....	55
Tabell 36: Oversikt over rapporter om miljøovervåkning i forbindelse med Grunnvannsprosjektet, fra Nationalmuseet.....	67
Tabell 37 : Sammenstilling av måledata for perioden 2011–2017.	69
Tabell 38: Sammenstilling av måledata for perioden 2011–2017.	69
Tabell 39: Sammenstilling av måledata for perioden 2011–2017.	69
Tabell 40: Sammenstilling av måledata fra 2013–2017.	72
Tabell 41: Miljøovervåkningsprogrammer i Oslo perioden 2010–2021.....	74
Tabell 42: Rapporter fra Peleprosjektet.....	74
Tabell 43: Sammenstilling av måledata fra 2010–2012 (Bergersen & Nytrø 2012).	76
Tabell 44: Rapporter fra Midgardsormprosjektet.....	77
Tabell 45: Sammenstilling av måledata fra 2010–2013 (Martens & Bergersen 2014).	78

Tabell 46: Rapporter fra DEG-prosjektet.....	80
Tabell 47: Sammenstilling av måledata av grunnvann fra 2010–2013 (Bergersen 2020).	81
Tabell 48: Sammenstilling av måledata fra 2011–2014 (Bergersen 2020).	81
Tabell 49: Sammenstilling av måledata av fra 2014–2018 (Bergersen 2020).	82
Tabell 50: Sammenstilling av måledata av fra 2014–2015 (Bergersen 2020).	83
Tabell 51: Rapporter fra Follobanen, Oslo.	84
Tabell 52: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold fra ulike prøver fra Kasse 1 Klypen øst Vollgrav etter S2 analyse.....	85
Tabell 53: Kjemiske forhold i prøver hentet fra Kasse 1 Klypen øst Vollgrav etter S2 analyse.	85
Tabell 54: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 2 Klypen Øst Kirkegård etter S2 analyse.	86
Tabell 55: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 2 Klypen Øst Kirkegård etter S2 analyse. (n.d not detected.).....	87
Tabell 56: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 3 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurenset.).....	87
Tabell 57: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 3 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurenset.)	88
Tabell 58: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 4 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurenset.).....	89
Tabell 59: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 4 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurenset.)	89
Tabell 60: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 5 Arkeologigropa etter S2 analyse.	90
Tabell 61: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 5 Arkeologigropa etter S2 analyse.	90
Tabell 62: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 6 Klypen vest etter S2 analyse.	91
Tabell 63: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 6 Klypen vest etter S2 analyse.....	92
Tabell 64: Prøver fra langtidsovervåkning Follobanen Punkt 1 (Arkeologigropa) og 2 (Saxegaardsgt 15).....	92
Tabell 65: Prøver fra langtidsovervåkning Follobanen Punkt 1 (Arkeologigropa) og 2 (Saxegaardsgt 15). (n.d not detected.)	93
Tabell 66: Miljøovervåkningsprogrammer i Trondheim perioden 2010–2021.....	107
Tabell 67: Rapporter fra Schultz gate - Presidentveita.	109
Tabell 68: Sammenstilling av måledata for temperatur fra 2013–2017 (Bergersen 2020).	111
Tabell 69: Sammenstilling av måledata for jordfukt fra 2013–2017 (Bergersen 2020).	111
Tabell 70: Sammenstilling av måledata for redoksforhold fra 2013–2015 (Bergersen 2020).	111
Tabell 71: Rapporter fra Peter Egges plass og Rådhusallmenningen.	114
Tabell 72: Sammenstilling av måledata fra 2015–2012 (Gaut 2019).	114
Tabell 73: Sammenstilling av måledata fra 2015–2012 (Gaut 2019).	115
Tabell 74: Sammenstilling av måledata fra 2015–2012 (Gaut 2019).	115
Tabell 75: Rapporter fra Søndre gate 7–11 MOV.	117
Tabell 76: Sammenstilling av måledata fra 2015–2018 (Bergersen 2021).	118
Tabell 77: Sammenstilling av måledata fra 2019–2020 (Bergersen 2021).	119
Tabell 78: Sammenstilling av måledata fra 2015–2018 (Bergersen 2021).	119
Tabell 79: Sammenstilling av måledata fra 2019 (Bergersen 2021).	120
Tabell 80: Sammenstilling av måledata fra 2020 (Bergersen 2021).	120
Tabell 81: Sammenstilling av måledata for redoksforhold fra 2015–2020 (Bergersen 2021).	121
Tabell 82: Sammenstilling av måledata for redoksforhold fra 2015–2020 (Bergersen 2021).	122
Tabell 83: Rapporter fra Erling Skakkes gate 3–5.....	124
Tabell 84: Rapporter fra Munkhaugveita 5–7.	128
Tabell 85: Sammenstilling av måledata for temperatur fra 2015–2020 (Bergersen 2021).	129
Tabell 86: Sammenstilling av måledata for jordfukt fra 2015–2020 (Bergersen 2021).	130
Tabell 87: Sammenstilling av måledata for redoksforhold fra 2015–2020 (Bergersen 2021).	131

1 Innledning og bakgrunn

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. For å kunne videreutvikle bruken av miljøovervåking (MOV) som virkemiddel i forvaltningen av middelalderbyene og som vilkår i dispensasjonsvedtak, har NIKU kartlagt, sammenstillet og analysert resultatene fra utvalgte overvåkingsprosjekter som pågår eller er avsluttet.

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
- er nødvendig for å vurdere om arkeologiske lokaliteter kan bevares in situ

På møte med Riksantikvaren (RA) 12.2.2021 ble bestillingen diskutert for å sikre at begge parter hadde felles oppgaveforståelse. En mindre rettelse ble innført etter tilbakemelding fra Jens Rytter/RA 5.5.2021.

1. Kartlegge, sammenstille og analysere generelle utviklingstrekk vi ser i måleseriene som påvirker muligheten til langsiktig bevaring.
2. Kartlegge, sammenstille og analysere repeterende forhold og vurdere om disse utgjør en trussel.
3. Kartlegge, sammenstille og analysere lokale variasjoner i bevaringstilstand som observeres innenfor et område der bevaringsforholdene ellers er like.
4. Kartlegge, sammenstille og analysere bruken av avklarende undersøkelser og beskrive behov for eventuelle endringer.

I henhold til prosjektplan ble det skissert følgende forventede resultater: Analysen skal bidra til å gi forvaltningen oppdatert kunnskapsgrunnlag som skal brukes til å justere kurs dersom analysen tilsier dette og til revisjon av eksisterende veiledningsmateriell, som for eksempel veileder for bygging på kulturlag (Byggforskerien 2010). Oppgavene ovenfor (1–4) har blitt jobbet med delvis parallelt, og er sammenstilt i denne rapporten.

1.1 Rapportens struktur og innhold

Rapporten er delt i fire hovedkapitler, kapittel 2–5, som samsvarer til oppgavene 1–4 ovenfor. Kapittel 2 omhandler generelle utviklingstrekk i måleseriene, kapittel 3 ser på repeterende forhold i måleseriene, kapittel 4 tar for seg lokale variasjoner, og i kapittel 5 vurderes bruken av avklarende undersøkelser. Det er spesifikke problemstillinger og oppgaver som ble ønsket besvart, og dette redegjøres for og defineres innledningsvis i hvert kapittel.

For kapittel 2, oppgave 1, gis en oversikt over miljøovervåkingsprogrammer per middelalderby (Tønsberg, Bergen, Oslo og Trondheim) i tabellform, før en gjennomgang av de enkelte programmene følger. Måledataene per miljøovervåkingsprogram presenteres også i tabellform. Alle miljøbrønner (MB) og miljøprofiler (MP) som har vært eller var aktive i den aktuelle perioden, 2010–2021, er kartfestet (se også kapittel 8 for koordinatliste). I kapittel 3, oppgave 2, fremstilles dataene på samme måte, hvor hver by med tilhørende miljøovervåkingsprogram presenteres for seg, men hvor repeterende forhold i måleseriene er trukket ut og konkretisert. Er det noen særlige forhold som gjentar seg i måleseriene på et eller flere steder, og som har spesielt positive eller negative

konsekvenser for in situ-bevaringen av kulturlag? Analyser og overordnede konklusjoner per prosjekt, også der hvor NIKU har stilt seg uenig med aktuelle underleverandører, er uthevet i kursiv.

For kapittel 4 og 5, oppgave 3 og 4, har det ikke latt seg gjøre å svare ut alle problemstillingene som var definert i forkant. Spørsmål rundt lokale variasjoner i bevaringstilstanden oppsummeres kortfattet, mens vurderinger av avklarende undersøkelser gjøres på bakgrunn av noen eksempler som er trukket fram. Det anbefales at oppgave 3 og 4 er temaer som bør prioriteres i videre arbeid.

1.2 Analyseparametere kulturlag

Parametere for analyse av jordprøver fra kulturlag beskrives i NS9451:2009 (Standard Norge 2009). Parametere er delt inn i grunnleggende parametere (S1) og miljøparametere (S2). Parametere i S1 og S2 beskrives i **Tabell 1**.

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

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

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 (Martens et al. 2021).

Når det gjelder bedømmelsen av bevaringstilstanden til arkeologiske levninger – noe som vanligvis foretas av arkeologer i felt – finnes det en rekke parametere, beskrevet i NS9451:2009.

Tilstandsgraden angis i henhold til en skala, som vises av **Tabell 2**.

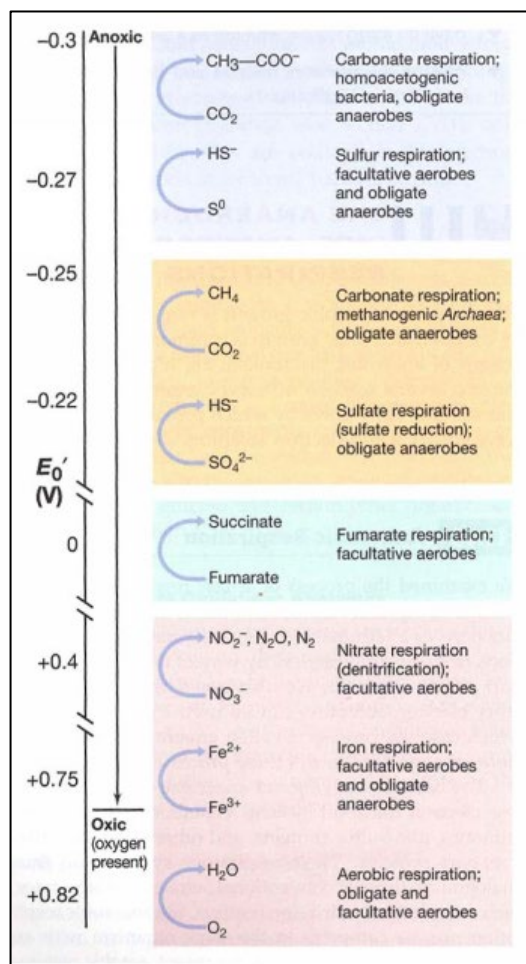
Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsgrad					
	0 (Ingen)	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = A	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuerende vann) = B	B0	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = C	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Fyllmasser o.l. senere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

Tabell 2: Skala som angir bevaringstilstanden i kulturlag, i henhold til Norsk Standard NS 9451:2009.

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 (Martens et al. 2021).

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 jordlagene 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 & Martinko 2006).

Selv om redoks i jordlaget 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 jordlaget 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 utmerkede bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning. Redoksforhold mellom de forskjellige mikrobielle prosessene vises i Figur 1 (Madigan & Martinko, 2006).

Tabell 3 og 3 viser en enkel oversikt over hvordan kulturlagenes 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 (vann fra miljøbrønner i samme høyde som kulturlag observert ved boring av brønnen). Man måler oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid og 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.

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

Tabell 3: Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jord under forskjellige redoksforhold og bevaringsforhold i kulturlag.

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 (Martens et al. 2021).

2 Gjennomgang av miljøovervåkingsprosjekter/-programmer: generelle utviklingstrekk

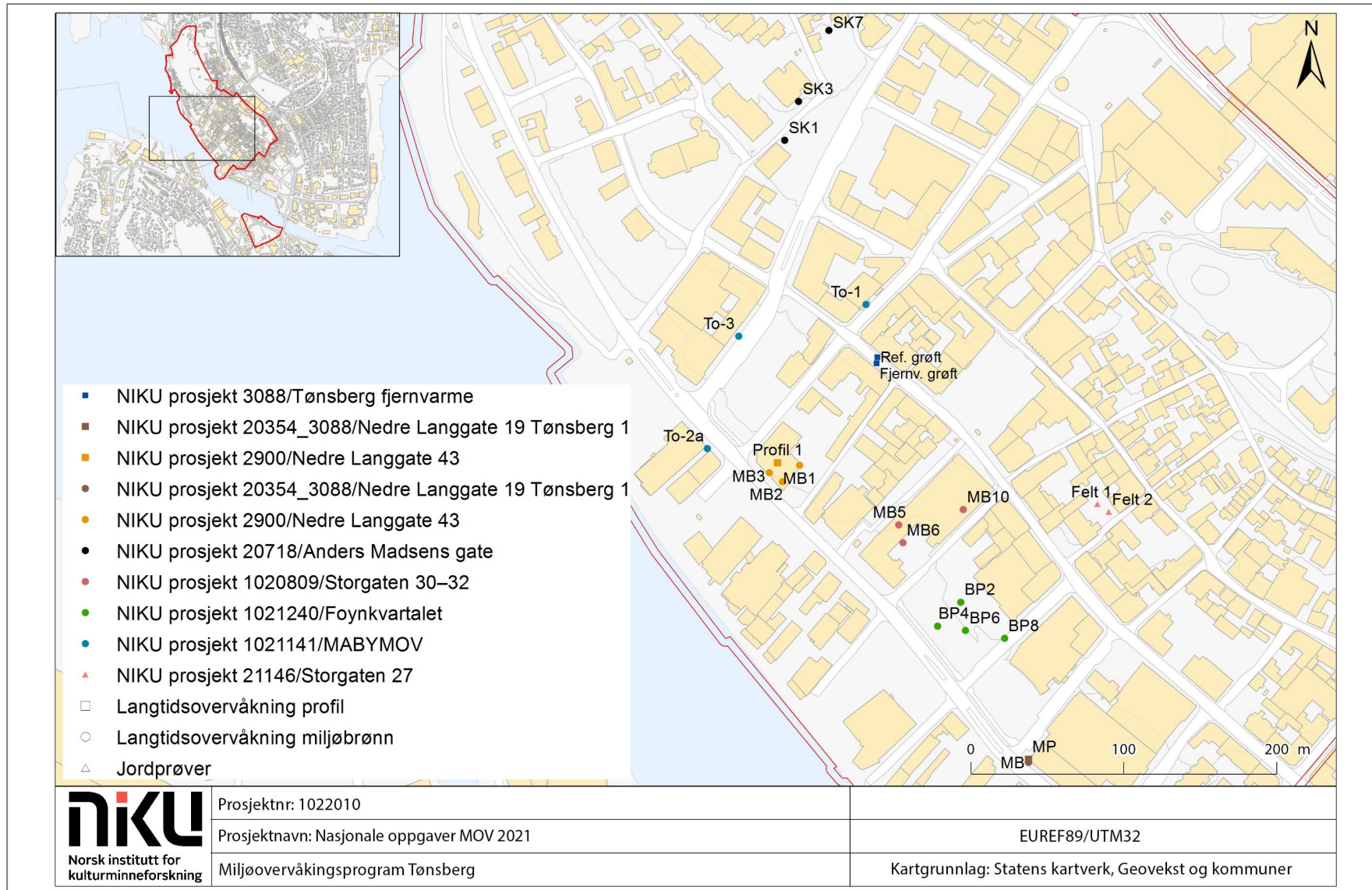
I dette kapittelet blir et større antall rapporter gjennomgått, for miljøovervåkingsprogrammer tilknyttet Tønsberg, Bergen, Oslo og Trondheim. For å sikre at undersøkelsene i det minste forholder seg til eksisterende Norsk Standard (NS9451:2009), har vi valgt å avgrense rapportmaterialet til perioden fra 2010 og frem. Mye av materialet har vært tid- og ressurskrevende å finne fram, og gjennom den aktuelle perioden (2010–2021) har flere forskjellige underleverandører på leveranser av målinger og analyser vært involvert. Kvaliteten på rapporter har derfor vært noe varierende. Måledataene fra rapportene er forsøkt standardisert i tabellform i denne sammenstillingen, men utformingen vil altså sprike noe. Det er skaffet oversikt over tilgjengelige rapporter fra de siste ti år. Ved enkelte miljøovervåkingsprogrammer har det blitt påbegynt arkeologiske undersøkelser før 2010, men måleseriene har løpt inn i den aktuelle perioden. Disse, og øvrige rapporter, er inkludert i oversiktstabeller og i gjennomgangen av hver enkelt middelalderby, for å få et helhetlig bilde av de enkelte prosjektene. Hvert prosjekt og tilhørende miljøbrønner og -profiler er kartfestet. Rapportene har blitt gjennomgått, og resultatene presenteres nedenfor, sammen med en analyse av generelle utviklingstrekk. Skjer det positive eller negative endringer i bevaringsforholdene for kulturlagene i middelalderbyene?

2.1 Tønsberg

I perioden 2010–2021 har det vært åtte aktive miljøovervåkingsprosjekter i middelalderbyen Tønsberg (Figur 2). Pr. oktober 2021 er fem av prosjektene avsluttet, mens tre er aktive med løpende måleserier (se Tabell 4). I flere av de avsluttede prosjektene finnes det fortsatt brønner som enten kan re-instrumenteres eller som har utstyr som kan reaktiveres. Miljøovervåkingsprosjekter i Tønsberg fram til 2010 er gjennomgått og presentert samlet i Petersén og Martens oversiktsrapport fra 2011 (Petersén & Martens 2011).

NIKU projektnr.	RA saksnr.	Gateadresse / prosjektnavn	Miljøbrønn	Status	MOV periode
15620718	06/03454	Anders Madsens gate MOV	MB1, MB3, MB7	Avsluttet	2013–2014
1562900	07/01060	Nedre Langgate 43 (branntomta)	MB1, MB2, MB3, Profil	Avsluttet	2008–2012
15621146, 1562331	06/04252	Storgaten 27	Profil	Avsluttet	Prøver i 2007 og 2013
1562846, 15620614, 1020161, 1020809	08/00679, 14/00283, 15/00590	Storgaten 30–32 (City shopping/Foynsenteret/Torvet bakgård)	MB6, MB10, MB5	Åpent	2010, 2011, 2013–2017, 2016–2021??
1021240	17/02301	Foynkvartalet (N. Langgate / Tjømegaten/Prestegaten/ Storgaten)	BP2, BP4, BP6, BP8	Åpent	2018–2023
1563088, 1563359	07/02835	Nedre Langgate 19 (Tønsberg fjernvarme 2009, båtfunn)	Profil og MB	Avsluttet	2010–2012
15620354	07/02835	Storgaten (Tønsberg fjernvarme MOV)	Profil og referanseprofil	Avsluttet	2011–2014 (2015)
15620669, 1020262	09/00422	MOV-program for Tønsberg (MABYMOV)	TO1 (utgår), TO2a1, TO2a2, TO3	Åpent	2020–?

Tabell 4: Miljøovervåkingsprogrammer i Tønsberg perioden 2010–2021.



Figur 2: Kart over aktive miljøovervåkingsprogrammer i Middeltalderbyen Tønsberg. Kart: NIKU.

2.1.1 Anders Madsens gate MOV

På tomte Anders Madsens gate 1 (se Figur 2 og Tabell 5) ble det i 2013 instrumentert tre miljøbrønner (NIKU prosjektnummer 15620718). Brønnene ble boret i 2009. Måleserien løp over ett år, og er rapportert i en statusrapport (Bergersen 2014a).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Ekstrøm, Hanne. Bergersen, Ove	2009	NIKU oppdragsrapport 218 /2009. Bioforsk Vol. 4. Nr. 122 2009.	Vurdering av bevaringstilstand og forhold i kulturlag i Anders Madsens gate, Tønsberg. Arkeologisk og jordfaglig vurdering	Forundersøkelse, boreundersøkelse med jordkjemiprøver
Amundsen, Carl Einar	2011	Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 39 2011	Overvåking av grunnvann i kulturlag i Oslo, Tønsberg og Bergen Resultater for 2009-2010	Vannkjemiprøver
Jordahl, Hanne E. Håkonsen, Ingunn	2013	NIKU oppdragsrapport 96/2013	Anders Madsens gate, Tønsberg. Arkeologisk forundersøkelse i forbindelse med utbygging av eiendommen	Arkeologisk forundersøkelse
Halvorsen, Sunniva W. Haugesten, Lars	2016	NIKU oppdragsrapport 1/2016	Arkeologisk utgravning i Anders Madsens gate 1, Tønsberg	Arkeologisk utgravning
Bergersen, O.	2014	Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 104	Ett års miljøovervåking av grunnvann omkring kulturminner i området Anders Madsens gate i Tønsberg. Statusrapport for perioden 2013 – 2014	MOV-statusrapport

Tabell 5: Rapporter fra Anders Madsens gate MOV.

2.1.1.1 Bakgrunn

På Anders Madsens gate 1 ble det i 2009 gjennomført en forundersøkelse (NIKU prosjektnummer 1563215) med boring og dokumentasjon av boresøyler og jordkjemiprøver (Ekstrøm og Bergersen 2009). Prosjektet er inkludert i Petersén og Martens oversiktsrapport fra 2011. I 2009 og 2010 ble det utført grunnvannsundersøkelser (Amundsen 2011). Begge disse undersøkelsene viste at bevaringsforholdene på tomte var mindre gode. I 2013 ble det gjennomført en arkeologisk forundersøkelse på tomte (Jordahl og Håkonsen 2013, NIKU prosjektnummer 15620718), etterfulgt av en arkeologisk utgravning av hele byggetomte i 2015 (Halvorsen og Haugesten 2016, NIKU prosjektnummer 1020517). De arkeologiske undersøkelsene bekreftet at kulturlagene på tomte hadde gjennomgående dårlige til elendige bevaringsforhold.

2.1.1.2 Måledata

I de tre brønnene som ble instrumentert, MB1, MB3 og MB7, ble det overvåket parametere i grunnvann, pH, temperatur, ledningsevne, redoksforhold og oksygen (se Tabell 6). Grunnvannet i alle tre brønner ble påvirket av nedbørrike perioder. I MB7 lå kulturlagene over grunnvannsnivået, og stod uten grunnvann i lengre perioder. Leverandør av MOV-tjenester var Bioforsk. Brønnene omtales både som MB og SK i rapport, vi har her benyttet MB.

Brønn	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm -1	Redoks mV	Oksygen mg/l O2
MB1	Mettet Stabilt 15,4–16,8 moh. Median: 15,4 Gj.sn: 15,9 Fluktuasjon på 1,4 m.	7,4–11,1 Median: 9,1 Gj.sn: 9,2	4,9–6,6 Median: 5,0 Gj.sn: 5,3	0,23–0,77 Median: 0,54 Gj.sn: 0,51	(-526)–(-266) Median: -387 Gj.sn: -356	0,02–0,06 Median: 0,04 Gj.sn: 0,04
MB3	Mettet Stabilt 16,5– 18 moh. Median: 17,1 Gj.sn: 17,2	8,7–11,9 Median: 10,1 Gj.sn: 10,2	5–7,2 Median: 5,4 Gj.sn: 5,6	0,38-2,08 Median: 0,96 Gj.sn: 0,96	(-544)–(-252) Median: -381 Gj.sn: -261	0,02–0,05 Median: 0,03 Gj.sn: 0,03

Brønn	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm -1	Redoks mV	Oksygen mg/l O ₂
	Fluktuasjon på 1,5 m.					
MB7	Umettet Grunnvann kun i nedbørrike perioder. 21,3–23,1 moh. Median: 21,6 Gj.sn: 21,8 Fluktuasjon på 1,8 m.	5,7–12,3 Median: 9,3 Gj.sn: 9,1	4,5–6,7 Median: 5,1 Gj.sn: 5,2	0,00–2,69 Median: 1,34 Gj.sn: 1,19	(-433)–(235) Median: 85 Gj.sn: 36	0,00–11,19 Median: 0,02 Gj.sn: 2,56

Tabell 6: Sammenstilling av måledata fra juni 2013 – august 2014 (Bergersen 2014a).

2.1.1.3 Resultater

Grunnvannet fluktuerte 1,4 m i MB1, 1,5 m i MB3 og 1,8 m i MB7. Ved MB7 var det målbart grunnvann kun ved mye nedbør. Temperaturen i grunnvannet lå rundt 10 °C i alle brønnene. Grunnvannstemperaturen fulgte svakt sesongmessige svingninger i utetemperatur. Målinger på pH og ledningsevne viste at bevaringsforholdene var ustabile. Dette gjaldt spesielt miljøbrønn MB3 og MB7. pH-verdiene viste relativt store svingninger, med et gjennomsnitt rundt 5. Jordkjemiprøvene fra forundersøkelsen i 2009 viste 1–2 enheter høyere pH. Målingene av ledningsevne viste også til ustabile forhold. Dette gjaldt særlig for MB7, hvor det ikke stod grunnvann gjennom store deler av måleperioden. Målingene fra brønnen vil ha vært upålitelige i tørre perioder, noe som kan forklare ustabile målinger også på pH. Kulturlagene på tomta ser ut til å ha vært påvirket av fluktuerende grunnvann gjennom mange år. Særlig ved MB7 har grunnvann vært direkte påvirket av nedbørsvann over lang tid. Målinger av redoksforhold i grunnvannet fra MB1 og MB3 var på gjennomsnittlig -356 og -261mV. I MB7 var gjennomsnittet på + 36 mV, trolig på grunn av de fluktuerende grunnvannsførholdene der. Redokspotensialet var relativt stabilt i MB1. I MB3 var det først stigende, før det stabiliserte seg. Oksygeninnholdet i grunnvannet viste lave, stabile verdier i MB1 og MB3, noe som er positivt for å sikre gode bevaringsforhold. I MB7 var det derimot økte mengder oksygen i nedbørfattige perioder. Disse svingningene kan forverre bevaringsforholdene for kulturlagene.

Ettårig MOV-program 2013-2014, tre miljøbrønner. Kulturlagene på tomta viste dårlig bevaringstilstand og dårlige bevaringsforhold ved både boreundersøkelsen, den arkeologiske forundersøkelsen og den arkeologiske utgravningen. Det er trolig forårsaket av at oksygenrikt nedbørsvann har oksidert kulturlagene over lang tid. Dette var særlig tydelig i det høyereliggende, nordlige området av tomta. Den arkeologiske utgravningen i 2015 bekreftet at det var dårlig bevaringstilstand over hele tomta. Kulturlagene var relativt tynne, og derfor også ekstra sårbare for ustabile bevaringsforhold.

2.1.2 Nedre Langgate 43

På Nedre Langgate 43 ble det i november 2008 igangsatt et 5-årig miljøovervåkningsprogram. Programmet inkluderte overvåking i tre miljøbrønner (MB1–3) og en profil (NIKU prosjektnummer 15620900) (se Figur 2). Målet var å vurdere kulturlagenes sårbarhet og tåleevne før, under og etter bygging. Prosjektet er rapportert i installasjonsrapport, to statusrapporter, og to avsluttende rapporter, i tillegg til at det foreligger arkeologisk utgravningsrapport og rapport fra vannkemiske analyser (Petersén og Bergersen 2007, Ekstrøm 2008, Amundsen 2011, Bergersen, Hartnik og Bloem 2008, Bergersen 2011b, Bergersen 2012c, Bergersen 2013a og Petersén 2013) (se Tabell 7). Undersøkelsene skulle gi et grunnlag for å vurdere endringer i fysisk-kjemiske parametere i grunnvann og umettet sone som følge av byggingsarbeidene på tomten. Resultatene av miljøovervåkningsprosjektet 2008–2012 viste stabile bevaringsforhold i mettet sone (se Tabell 8), og forverrede bevaringsforhold i

umettet sone. Overvåkingen i umettet sone bød på flere praktiske og faglige utfordringer som kan ha påvirket dette resultatet.

I mettet sone ble det overvåket endringer i grunnvannssammensetning i tre miljøbrønner. Miljøbrønnene var plassert nær pelene og under kjelleren, og målingene skulle sammenlignes med grunnvann på nordsiden av tomten, i et område som ikke var påvirket av byggearbeidene. Miljøbrønnene gav stabile data fra hele overvåkingsperioden 2008–2012. MB1 ligger på utsiden av bygget, mens MB2 og MB3 ligger under bygget.

I umettet sone ble det gjennomført overvåking i profil, med syv sensorer som målte fuktighet, temperatur og oksygen i ulike dybder. Profilveggen var avdekket da et felt ble utgravd for etablering av heissjakt. Sensor 57 og 62 var 70 cm under markoverflate (også omtalt som snitt 0,7–0,9 m), sensor 63 var på 1 m dybde (også omtalt som snitt 1,2–1,4 m) og 55 og 60 var på 150 cm dybde under markoverflate (også omtalt som snitt 0,9–1,1 m). Profilen lå i tilslutning til trapperommet ned til kjeller omtrent i midten av nybygget.

Forfatter	År	Rapportnummer	Tittel	Rapporttype
Petersén, Anna Bergersen, Ove	2007	NIKU oppdragsrapport 66/2007. Bioforsk Vol. 3 Nr. 6 2008.	Nedre Langgate 41-43. Arkeologisk forundersøkelse (tilstandsvurdering av kulturlag fra boreprøver og profil) i forbindelse med privat forslag til reguleringsplan med formål om tilretteleggelse for ny bebyggelse på eiendommen etter brann	Forundersøkelse, boreundersøkelse med jordkjemiprøver
Ekstrøm, Hanne	2008	NIKU oppdragsrapport 50/2008	Nedre Langgate 43, Tønsberg Arkeologisk utgravning på Branntomta	Arkeologisk utgravning
Amundsen, Carl Einar	2011	Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 39	Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 39 2011 Overvåking av grunnvann i kulturlag i Oslo, Tønsberg og Bergen Resultater for 2009-2010 Carl Einar Amundsen. Prosjektnr. 2110829	Grunnvannsprøver
Bergersen, Ove Hartnik, T. Bloem, E.	2008	NIKU oppdragsrapport 67/2008. Bioforsk Vol 3 Nr. 175 -2008	Vurdering av bevaringstilstand og forhold i kulturlag i mettet/umettet sone ved Nedre Langgate 43, Tønsberg Arkeologisk, jordfaglig og geofysisk analyse. Ove Bergersen, Thomas Hartnik og Esther Bloem	Jordkjemiprøver
Bergersen, Ove	2011	Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 6 2011	Miljøovervåking av kulturlag under nybygg ved Nedre Langgate 41-43, Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. Statusrapport. Ove Bergersen	Statusrapport 1
Bergersen, Ove	2012	Bioforsk Rapport Vol. 7 Nr. 10 2012	Miljøovervåking av kulturlag under og nær nybygg ved Nedre Langgate 41 -43, Tønsberg Statusrapport etter 4 år Ove Bergersen	Statusrapport 2
Bergersen, Ove	2013	Bioforsk Rapport Vol. 8 Nr. 19 2013	Miljøovervåking av kulturlag fra Middelalderen under bygging og etter at nybygg er satt opp ved Nedre Langgate 41-43, Tønsberg Sluttrapport Ove Bergersen	Sluttrapport Bioforsk
Petersén, Anna	2013	NIKU oppdragsrapport 188/2013. Bioforsk rapporter er vedlagt denne sluttrapporten	Nedre Langgate 43, Tønsberg. Rapportering etter avsluttet miljøovervåkingsprosjekt 2008–2012	Sluttrapport NIKU

Tabell 7: Rapporter fra Nedre Langgate 43.

2.1.2.1 Bakgrunn

I 2007 ble det gjennomført en forundersøkelse som inkluderte undersøkelse og dokumentasjon av kulturlag fra fem boresøyler og to profiler (NIKU prosjektnummer 1562573). I 2008 var det en arkeologisk undersøkelse på samme tomt (NIKU prosjektnummer 156282101). Undersøkelsen inkluderte 13 borepunkter. Kulturlagene ble registrert som liggende i fluktasjonssonen, men lå i realiteten over, i og under grunnvann. Det ble nedsatt tre miljøbrønner som skulle måle grunnvannet.

Undersøkelsene er inkludert i «Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo» (Petersén & Martens 2010) og rapportert i NIKU oppdragsrapport 66/2007, 50/2008 og 67/2008 (Petersén og Bergersen 2007, Ekstrøm 2008, Bergersen, Hartnik og Bloem 2008). I 2011 ble det rapportert på vannprøver fra fem grunnvannsbrønner (Br1, MB14, MB15, Br3, Br5) i Nedre Langgate 41–43 (Amundsen 2011). Resultatene viste stabile pH-forhold, og varierende konsentrasjoner av nitrat og ammonium. Lagdeling og heterogeniteten i området på østsiden av tomten ble kartlagt ved hjelp av geotekniske metoder (Bergersen, Hartnik og Bloem 2008).

Konklusjonen fra undersøkelsene av bevaringstilstand fra Nedre Langgate 41–43 var at tilstanden var god til meget god i de fleste områdene, med unntak av et område ut mot Møllergaten. Boreprøvene viste gode til utmerkete forhold i alle borepunkter. Det ble likevel påpekt at det var dårlig samsvar mellom den kjemiske sammensetningen i grunnvannsprøvene og bevaringsforholdene fra undersøkelsen i 2007/2008 (Bergersen, Hartnik og Bloem 2008).

2.1.2.2 Måledata

Brønn	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm ⁻¹	Redoks mV	Oksygen mg/l O ₂
MB1	Mettet Stabilt 4,56-5,87 Gj.sn: 5,15 Fluktuasjon på 1,31 m.	8,38–10,73 Gj.sn: 9,51 Økt, men mindre enn de inne i bygg	6,5–8,1 Gj.sn: 7,4 Stabil, svak økning over tid	0,13–1,64 Gj.sn: 0,87 Stabil	(-514)–(98) Gj.sn: (-355)	
MB2	Mettet / Fluktuasjon 2,27-3,43 Gj.sn: 2,78 Fluktuasjon på 1,16 m.	5,38–15,48 Gj.sn: 12,06 Økt	6,4–7,7 Gj.sn: 7 Stabil, svak økning over tid	0,12–2,18 Gj.sn: 1,47 Stabil, mer svingende enn de to andre brønnene	(-510)–(-219) Gj.sn: (-462)	
MB3	Mettet stabilt 2,48-3,04 Gj.sn: 2,76 Fluktuasjon på 0,56 m.	7,32–15,21 Gj.sn: 12,34 Økt	6,3–7,6 Gj.sn: 6,9 Stabil, svak økning over tid	0,76–2,98 Gj.sn: 2,30 Stabil	(-540)–(78) Gj.sn: (-449)	
Profil Se tabeller i rapport er for tall for hvert nivå	Umettet Store svingninger i fuktighet, dels fra samme nivå, også mellom nivåer. 0–93,0 % Gj.sn: 30,2%	16,3–21,3 Store svingninger Gj.sn: Ca. 19				0,02–15,38 % Gj.sn: 1,73

Tabell 8: Sammenstilling av måledata fra 2008–2012 (Bergersen 2013a).

2.1.2.3 Avvik

Det finnes ingen overvåkingsdata før oktober 2010 fra overvåking i profil. Det foreligger ikke lange kontinuerlige måleserier for de undersøkte parametere fra umettet sone. Ved overvåking av profil var det store problemer med strømtilførsel og skap med loggerfunksjon som var ute av drift. I tillegg sluttet sensorer å virke over tid pga. vekslende fysiske forhold, trolig veksling mellom tørre og våtere perioder med mye regnvann. Temperaturmålingene gav stabile måledata, mens fuktighet- og oksygenmålingene gav varierende resultater. Kun noen få av sensorene virket i hele overvåkingsperioden.

2.1.2.4 Resultater

Miljøovervåkingsprosjektet på Nedre Langgate 43 var et pionerprosjekt innen miljøovervåking og peleproblematikk. Prosjektet samlet viktige erfaringer, særlig fra utfordringer knyttet til overvåking i umettet sone. Resultatene fra overvåking i miljøbrønner i mettet sone gav gode resultater, mens overvåking i profil i umettet sone medførte flere praktiske og faglige problemer.

Fra de tre miljøbrønnene MB1, MB2 og MB3 foreligger det overvåkingsdata gjennom hele måleperioden, fra november 2008 til desember 2012 (se Tabell 8). MB2 og MB3 er plassert under nybygg, og MB1 ligger på utsiden. Resultatene viste gode forhold for bevaring. Det ble ikke påvist klare tegn til forverrede bevaringsforhold i løpet av overvåkingsperioden under eller utenfor nybygg. Grunnvannet, som har stabilt lave redoksforhold, stabil og nøytral pH med svak økning igjennom overvåkingsperioden og stabilt saltinnhold / ledningsevne, dekket kulturlagene i MB1 og MB3. I MB2 lå kun ca. 0,5 m av kulturlagene over grunnvann. Temperatur målt i grunnvann var jevnt stigende i alle miljøbrønner fra og med midtre del av 2009, men temperaturen i MB2 og MB3 som ligger i bygget er høyere enn temperaturen i MB1 som ligger utenfor. For MB2 og MB3 har temperaturen økt med ca. 5 grader i overvåkingsperioden.

Overvåkningen i profil i umettet sone i perioden 2008–2012 etterlot lange perioder både uten måledata og med usikre måledata. Det foreligger overvåkingsdata fra slutten av 2010 til slutten av 2012. Temperaturmålingene gav minst avvik, men lå forholdsvis høyt på alle nivåer gjennom hele perioden, og målingene viste relativt store svingninger. Gjennomsnittet lå på 18–19°C. Dette var betraktelig varmere enn i grunnvannet. Målinger av fuktighet og oksygen gav til dels ustabile data. Oksygenivået later til å ha sunket fra 2011. Sensorene gav data fra siste del av 2010 og ut i første kvartal i 2011. Etter dette fungerte kun to sensorer høyest i jordlagsprofilen; 0,5–0,7 m under overflaten. Det er ikke registrert høyere oksygenivå enn 7,5 % etter første kvartal i 2011 (Petersén 2013). Fuktighetsnivået var svingende, både på samme nivåer og mellom nivåene, med tørrere forhold i de øverste lagene og økende fuktighet i de nederste lagene. I sluttrapport ble det konkludert med at miljøforholdene for kulturlag ved profilen var endret etter at bygget stod ferdig. Måledataene tydet på at de dypeste kulturlagene lå i en sone med unaturlig fluktuering av grunnvannsstand, til tross for at de burde ligge i mettet sone sammenlignet med kulturlagene i MB2 og MB3. Dette skyldes trolig varmetransport fra bygningen og ut til omkringliggende jordlag. Endringene vises i økt temperatur og redusert fuktighet, og trolig lavere grunnvannsstand i dette området av tomta (Petersén 2013).

Miljøovervåkingsprosjektet viste en negativ utvikling for bevaringsforholdene i kulturlagene i umettet sone ved nybyggets trappeoppgang, men det er ikke kjent hvor langt inn i kulturlagene endringene forekommer. Temperaturen i kulturlagene i profilen var 7–8 grader høyere enn i miljøbrønnene. Det viste seg vanskelig å overvåke fuktighet og oksygen i umettet sone nær bygg. Målingene viste svingninger, men dataene er upålitelige. Temperaturmålingene gav gode resultater, men kan også inneholde feilkilder knyttet til tilsig av nedbørsvann. Under nybygget svingte temperatur i grunnvannet 2–3 grader. Grunnvannet framstod som stabilt oksygenfritt, med gode bevaringsforhold for kulturlagene. Det ble konkludert med at nybygget ikke hadde påvirket grunnvannets nivå og sammensetning, slik at det fortsatt er gode bevaringsforhold for kulturlagene i nærheten av og under bygget (Petersén 2013).

Femårig MOV-program 2008-2012, tre miljøbrønner og et profil. Her har fokus i rapportens konklusjon vært på de relativt stabile målte bevaringsforhold i brønnene. Vi anser at det er vesentlig å fremheve de temmelig ustabile og klart forringede bevaringsforhold som måles i profil. Også målinger i brønnene inne i bygningen viser forringede bevaringsforhold.

2.1.3 Storgaten 27

I 2007 (prosjekt 1562625, 1562331) (se Tabell 10) ble det tatt ut åtte jordprøver for jordkjemiske analyser av bevaringsgrad, fra profilvegg (Brendalsmo 2007) (se Figur 2). I 2013 (prosjektnummer 15621146) ble den samme profilen avdekket, og det ble tatt nye S2-prøver fra kulturlag i profil i umettet sone (Standard Norge 2009), fra noen av de samme lagene. Det ble boret et punkt, hvor lagene ble analysert arkeologisk. Det arkeologiske arbeidets formål var å undersøke og dokumentere automatisk fredede kulturlag, samt grunnvannsnivå, og hvordan disse var blitt påvirket av inngrepene som ble gjort i 2007. Det var også et mål å utføre avbøtende tiltak for å sikre kulturlagene. Det var 50–105 cm bevarte kulturlag, under asfalt/betong og ca. 1 m overdekning. Alle kulturlag lå over

grunnvannsnivå. Tilstanden i kulturlagene i 2013 var vurdert som dårlig til elendig. Lagene bestod av humøse, organiske kulturlag, med et sandig dyrkingslag i bunn.

Undersøkelsene i 2013, sett i sammenheng med forundersøkelsen i 2007, viste tydelig en forringing av bevaringsforholdene i de automatisk fredede kulturlagene. Det later til at nedbrytningsprosessen har akselerert etter inngrepet i 2007 (se Tabell 9).

Jordkjemiprøvene fra 2013 viste gjennomgående oksiderende forhold. pH lå rundt nøytralt nivå både i 2007 og 2013. Vanninnholdet var middels til lavt både i 2007 og 2013. Ledningsevnen var gjennomgående lav i 2007, men høy i 2013. Grøftene ble i 2007 gjenfylt med drenerende masser, som hadde sluppet luft inn i lagene. Disse lagene ble byttet ut med tette masser i 2013.

Jordkjemiske analyser fra profil i 2007 og gjenåpning og nye analyser fra 2013. Klar forringelse av bevaringsforholdene. Undersøkelsene i hhv 2007 og 2013 viste en klar negativ utvikling i bevaringsforholdene. Her understrekes betydningen av hvilken type fyllmasse som benyttes i grøfter. Om ikke selve profilvegg og evt. bunn i grøft er sikret med leire eller geomembraner, er det ekstremt viktig at fyllmasser ikke er porøse. Ellers risikerer man å eskalere nedbrytningsprosesser og dermed begrense mulighetene for fortsatt in situ bevaring. Grøftesikring/ profilsikring er dermed å betrakte som et vesentlig avbøtende tiltak (Martens 2017:133).

Parameter	Vanninnhold %	Glødetap	pH	Ledningsevne	Redoks	Nitrat-N	Ammonium	Sulfat	Sulfid	Fe(I)	Fe(III)	TS %
Lag 7 (2007) / 2013 (105 cm)												
2007: S2	40,8	14,4	6,26	1,39	133	320,5	10,11	120,98	29,09	2,3	387,4	
2013: P1	47	17,9	7	678	Oksiderende	<0,86	3,95	78	9	29	162	53
Lag 11 (2007) / K5 (2013)												
2007: S5	19,8	3,3	7,28	0,18	99	1,14	1,14	5,57	0	1,6	256,7	
2013: P5A	20,3	3,4	7,5	127	Oksiderende	1,4	1,15	29	8	18	252	79,7
2013: P5B	19,8	3,1	7,7	94	Oksiderende	1,1	1,03	5	8	16	198	80,2
Lag 10 (2007) / K4 (2013)												
2007: S6	56,1	24,2	7,29	0,19	73	10,4	16,91	20,73	0	14,7	837,7	

Tabell 9: Resultater av jordkjemiprøver i 2007 og 2013, Storgaten 27.

Forfatter	År	Rapportnummer	Tittel	Rapporttype
Brendalmo, J.	2007	NIKU oppdragsrapport 10/2007. Bioforsk Vol. 2 Nr. 63 2007	Nedre Langgate 41-43. Arkeologisk forundersøkelse (tilstandsvurdering av kulturlag fra boreprøver og profil) i forbindelse med privat forslag til reguleringsplan med formål om tilretteleggelse for ny bebyggelse på eiendommen etter brann	Forundersøkelse, uttak av jordkjemiprøver fra profil
Bergersen, O.	2013	Bioforsk Vol 8 Nr. 141 2013	Geokjemisk kartlegging av kulturlag fra Storgaten 27, Tønsberg, Vestfold. Forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold i kulturlag i forbindelse med utbygging av eiendom	Resultater fra jordkjemiske analyser
Halvorsen, S. W.	2013	NIKU oppdragsrapport 119/2013	Storgaten 27, Tønsberg. Arkeologisk overvåking av oppgraving og igjenfylling, dokumentasjon av profil og jordsøyle fra grunnboring	Arkeologisk undersøkelse

Tabell 10: Rapporter fra Storgaten 27.

2.1.4 Storgaten fjernvarme MOV

Det ble etablert sonder i to grøfter i Storgata; i fjernvarmegrøft 30 og i en referansegrøft (se Figur 2). Sondene målte temperatur og fuktighet i kulturlag under fjernvarmerørene i Storgata. Sondene var montert 47 cm, 61 cm og 85 cm under nærmeste rør. Sondene i referansegrøft sitter på samme dybde 2,5–2,6 m fra nærmeste fjernvarmerør. Montering foregikk oktober 2010, men logging startet januar 2011. Sensorer ble etablert i bunn av grøft, med ulik avstand til rørene. Det var flere tekniske utfordringer underveis, blant annet var noen loggere feilkoblet, slik at det kun er Statusrapport III som har troverdige resultater (se Tabell 11). Det foreligger ikke en avsluttende rapport. Programmet skulle avsluttes i 2015.

Forfatter	År	Rapportnummer	Tittel	Rapporttype
Amundsen, C. E. & Vigdal, O.	2011	Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 52 2011	Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg Effekt av fjernvarmenett på kulturlag i Storgaten	Statusrapport
Amundsen, C. E. & Vigdal, O.	2012	Bioforsk Rapport Vol. 60 Nr. 52 2012	Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg Effekt av fjernvarmenett på kulturlag i Storgaten	Statusrapport
Bergersen, O.	2013	Notat	Statusrapport på miljøovervåking av kulturminner i Storgata, Tønsberg, 2011 og 2012 Overvåking av kulturlag i umettet sone liggende under fjernvarmerør 25. januar 2013	Statusrapport
Bergersen, O.	2014	Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 79 2014	Miljøovervåking av kulturminner under fjernvarmerør i Storgata, Tønsberg kommune Statusrapport II for perioden 2011–2013	Statusrapport II
Bergersen, O.	2015	Bioforsk Rapport Vol. 10 Nr. 37 2015	Miljøovervåking av kulturminner under fjernvarmerør i Storgata, Tønsberg kommune Statusrapport III for perioden 2011–2014	Statusrapport III

Tabell 11: Rapporter fra Storgaten fjernvarme MOV.

2.1.4.1 Måledata

Profil	Grunnvannssone	Temperatur °C	Vannstand %
Fjernvarmegrøft Topp	Umettet / fluktusjon	5,2–18,3 Gj.sn: 12,2 Median: 12,7	35,4–56,5 Gj.sn: 43,6 Median: 43,5
Fjernvarmegrøft Midt	Umettet / fluktusjon	6,4–18,5 Gj.sn: 12,9 Median: 13,4	33–97,7 Gj.sn: 38 Median: 35,6
Fjernvarmegrøft Bunn	Umettet / fluktusjon	5,8–16,9 Gj.sn: 11,4 Median: 11,8	37,6–50 Gj.sn: 41,8 Median: 41,9
Referansegrøft Topp	Umettet / fluktusjon	0,4–15 Gj.sn: 8,7 Median: 9,2	47,9–97,5 Gj.sn: 86,2 Median: 86,1
Referansegrøft Midt	Umettet / fluktusjon	1,2–13,9 Gj.sn: 8,5 Median: 8,9	38,1–98,7 Gj.sn: 79,5 Median: 78,5
Referansegrøft Bunn	Umettet / fluktusjon	2,4–15,8 Gj.sn: 8,5 Median: 9	45,8–84,5 Gj.sn: 60,6 Median: 58,8

Tabell 12: Sammenstilling av måledata fra Storgaten fjernvarmegrøft og referansegrøft (Bergersen 2015c).

2.1.4.2 Bakgrunn

Prosjektet (NIKU prosjektnummer 15620354) ble etablert som del av fjernvarmeprosjektet i Tønsberg (prosjekt 1563088). Miljøovervåking for in situ-bevaring av båtfunnet i Nedre Langgate 19 tilhørte i utgangspunktet dette prosjektet, men er behandlet separat og har ikke vært et prosjekt ledet av NIKU. Miljøovervåking i fjernvarmegrøft 30 og referansegrøft i Storgaten ble etablert oktober 2010 og skulle løpe fram til 2015. Fjernvarmegrøften ligger på fortausiden av Storgata, mens referansegrøften ligger midt i gaten. Begge grøfter har asfaltdekke. I begge grøfter er sensorene dekket med 10 cm leire og singel. I forhold til massene som tidligere dekket kulturlaget vil det permeable laget med singel kunne

føre til at regn- og smeltevann raskere trenger ned mot kulturlagene. Referansegrøfta er dermed ikke egnet som referanse for «opprinnelige» drenerings- og temperaturforhold i Storgata. Referansegrøfta er konstruert mest mulig lik fjernvarmegrøfta, for å kunne gi et innblikk i hvordan fjernvarmerørene påvirker kulturlagene. Siste rapport, statusrapport III, dekker 2011–2014.

2.1.4.3 Avvik

Miljøovervåkingen i Storgaten hadde flere utfordringer underveis. Det foreligger ikke informasjon om redoks- og bevaringsforholdene i fjernvarmegrøften. Det var ikke gjennomført en forundersøkelse av fysisk-kjemiske bevaringsforhold, så måledataene kan ikke sees opp mot hvordan forholdene i området var før inngrepet.

Det var flere perioder med manglende dataregistreringer. I perioden desember 2011 til mai 2012 ble det ikke registrert data fra sensorer i fjernvarmegrøften. Fra august 2013 sluttet jordfuktighetssensor ved 1,78 cm dybde i fjernvarmegrøft å fungere, trolig på grunn av vanninntrenging. Også i referansegrøften var sensoren på 1,78 m ustabil fra oktober 2013 til januar 2014.

I statusrapport III erkjenner Bioforsk (Bergersen 2015c) at loggere har vært feilkoblet, noe som annullerer resultatene i de foregående rapportene. «Etter å ha studert jordfuktighetsdata fra både fjernvarmegrøften og referansegrøften ser vi i dag at sensorene plassert på 1,78 m fra bakkenivå av hver grøft må ha vært byttet om i loggeren».

2.1.4.4 Resultater

Fuktighetsforholdene i kulturlag under fjernvarmerørene i Storgata 19 i Tønsberg ble i perioden 2011 ut 2014 påvirket lite av fluktuasjoner i nedbørsrike perioder, mens det er større fluktuasjon i referansegrøften (se Tabell 12). Tydelige fluktuasjoner i sammenheng med nedbør ble observert i øvre del av grøftene. Den høye fuktigheten i referansegrøften kan skyldes lekkasjer fra vann og avløpsnett, i tillegg til at massene i grøften har mer drenerende kvaliteter enn massene i fjernvarmegrøften. Kulturlag i fjernvarmegrøften viste stabil jordfuktighet over tid. Dette kan skyldes at vannets bevegelsesmønster i jorda har endret seg under fjernvarmerørene, sett i forhold til hvordan vannet fluktuerer i referansegrøften 2,5 m unna.

Median jordfuktighet i nedbørsrike perioder var 78–86 % i øvre del av referansegrøfta, og 36–44 % i fjernvarmegrøfta. I nedre del av referansegrøfta var fuktigheten på 60 %, mens den var på 42 % i fjernvarmegrøfta. Referansegrøfta var ca. 20 % fuktigere. Lavere fuktighet i fjernvarmegrøften kan gjøre kulturlagene mer utsatt for oksygeninntrenging, men det foreligger ikke data om porevolum (porøsitet) og redoksforhold.

Gjennomsnittlig jordtemperatur i kulturlagene under fjernvarmerørene var i perioden 2011 til 2014, 3–4°C høyere enn i referansegrøften. Temperaturstigningen i fjernvarmegrøften kan skyldes et svakt varmetap fra fjernvarmerørene, eventuelt oppvarming fra nærliggende kjeller eller av fortau over fjernvarmegrøft og evt. mer eksponering av solvarme. Temperaturforskjellene var sesonguavhengige, og skyldes trolig varmetap fra nærliggende bebyggelse, og ikke fra fjernvarmerørene alene. Det er uklart hvor mye temperatursvingningene påvirker kulturlagene, siden det ikke foreligger data på bevaringsforholdene før oppstart. Sesongsvingningene i temperatur i alle sensorer fra begge grøfter var 10–14 °C. Det konkluderes derfor med at sesongvariasjonene i lufttemperatur er viktigere for temperaturvariasjonene i kulturlagene enn effekten av fjernvarmerørene. Konklusjonen i statusrapport III (Bergersen 2015c) er at «fjernvarmerørene ikke påvirker eller skader miljøet rundt kulturlagene. Gravingen i området ser ut til å ha påvirket mer hvordan vann oppfører seg i grøften sammenlignet med opprinnelige jordfuktighet i Storgata.»

Det ble etablert sonder i profil i to grøfter i Storgata; i fjernvarmegrøft 30 og i en referansegrøft. Vi anser at konklusjonene som dras i delrapportene er ulogiske i forhold til hva som faktisk måles. Vi mener at de utførte målingene viser at det er forringede bevaringsforhold i grøften etter de utførte arbeidene, forårsaket både av varmeutstråling fra fjernvarmerørene og ikke minst innsig av oksygen

og overvann i grøtrefyllet. Vurderingen vanskeliggjøres av at det ikke foreligger data til vurdering av utgangspunktet, dvs. før etablering av grøften. Det foreligger tilsynelatende ingen avsluttende rapport.

2.1.5 Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1

I forbindelse med graving for etablering av fjernvarmegrøft i Tønsberg sentrum i 2009 (prosjektnummer 1563088), ble det ved Nedre Langgate 19 påtruffet et båtvrak (prosjektnummer 1563359, 15620354) (se Figur 2). Riksantikvaren fattet vedtak om in situ-bevaring av båten, navngitt Tønsberg 1. Den ble undersøkt arkeologisk (Molaug 2010), før den ble tildekket. Bevaringsforholdene ble overvåket i perioden 2010-2012 (se Tabell 13).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O.	2011	Bioforsk rapport 6 (7) 2011	Miljøovervåking av middelalderbåt i fjernvarmegrøft ved Nedre Langgate 19, Tønsberg	Statusrapport
Bergersen, O.	2012	Bioforsk rapport 7 (65) 2012	Miljøovervåking av middelalderbåt i fjernvarmegrøft ved Nedre Lang gate 19, Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke	Statusrapport
Bergersen, O.	2013	Brev, datert 1.5.2013	Status rapport 2010-2012 – miljøovervåking av middelalderbåt under etablerte fjernvarmerør. Nedre Langgate 19, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke	Sluttrapport
Molaug, P.	2010	NIKU oppdragsrapport 64/2010	Tønsberg 1. Arkeologisk framgraving og dokumentasjon av del av båtvrak funnet i Nedre Langgate 19 i 2009	Arkeologisk undersøkelse

Tabell 13: Rapporter fra Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1.

2.1.5.1 Måledata

	Grunnvann	Fuktighet wfv	Temperatur °C	Lednings-evne (mS cm-1)	Løse partikler (TDS)	Salinitet (SAL)	Redoks
Miljø-brønn båt	0,54–1,71 moh. Gj.sn: 1,08 moh. Fluktuasjon: 1,12–2,29 m Gj.sn: 1,74 Mettet sone		9,65–16,59 Gj.sn: 13,18	2,57–4,75 Gj.sn: 3,39	1,72–3,19 Gj.sn: 2,25	1,27–2,41 Gj.sn: 1,7	
Profil under båt		0,71–1,10 Gj.sn: 0,93	8,8–19,8 Gj.sn: 12,8	0,39–0,62 Gj.sn: 0,53			(-502)–(-467) Gj.sn: (-484)
Profil nær båt		0,58–1,01 Gj.sn: 0,74	9,4–21,6 Gj.sn: 13,9	0,2–0,29 Gj.sn: 0,25			(-104)–20 Gj.sn: (-47)
Profil over båt		0,4–0,75 Gj.sn: 0,54	11,3–24,2 Gj.sn: 16,2	0,31–0,51 Gj.sn: 0,43			81–440 Gj.sn: 315

Tabell 14: Sammenstilling av måledata fra Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1.

2.1.5.2 Bakgrunn

Prosjektet (NIKU prosjektnummer 15620354) ble etablert som del av fjernvarmeprosjektet i Tønsberg (prosjekt 1563088). Miljøovervåking for in situ-bevaring av båtfunnet i Nedre Langgate 19 tilhørte i utgangspunktet fjernvarmeprosjektet (prosjekt 3088), men ble skilt ut som eget MOV-prosjekt drevet av Riksantikvaren. Etersom prosjektet ikke har vært driftet av NIKU, har ikke vi alle prosjektdata tilgjengelig. Båtfunnet ble overvåket fra 2010–2012. Målet med prosjektet var å overvåke bevaringsforholdene rundt båten etter gjennomførte sikringstiltak. Miljøovervåking ble gjennomført i en miljøbrønn og i en profil med sonder over, under og nær båtfunnet.

2.1.5.3 Resultater

Kulturlagene rundt Tønsberg 1 hadde gode til utmerkede bevaringsforhold da de ble avdekket i 2009 (Bergersen 2011a). Båtfunnet ble i avsluttende rapport i 2013 (Bergersen 2013d) betegnet som liggende i stabile forhold, i fluktusjonssone for grunnvann (se Tabell 14). I det meste av overvåkingsperioden stod grunnvannet over båten. Båtfunnet var i liten grad utsatt for tilførsel av oksygenrikt regnvann eller større fluktusjoner i grunnvannet. Temperaturen i kulturlag og grunnvann stabiliserte seg rundt 13–14 °C. Fjernvarmerør over båten har ikke medført temperaturpåvirkning. Redoksforholdene under og nær båten viste stabile og reduserende forhold. Det ble konkludert med at det var «gode betingelser for å bevare båten for fremtiden slik den ligger nå.» Kulturlagene rundt båten fremstår som vannmettede, med et relativt høyt porevolum på 90–93 % under båten, 70–73 % nær båten og 50–54 % fylte porer over båten. Fylte porer gjør det vanskelig for luft å trenge ned i lagene rundt båten. Ledningsevnen var stabil i hele perioden, men høyest i de fuktigste delene av grøften. Redoksforholdene under og nær båten er gode, med gjennomsnittsverdi på (-480mV) under båten og (-50mV) nær båten. Over båten, i fluktusjonssonen, er redoksforholdene mindre stabile, med gjennomsnittsverdi på +315 mV.

Overvåking i miljøbrønnen viste at båten ligger i stabile forhold, med litt økt grunnvannsstand. Gjennomsnittlig grunnvannstemperatur, salinitet, ledningsevne og løste partikler var stabilt gjennom hele måleperioden, også i nedbørsrike perioder. Båten ligger ved 1,12–2,38 moh., delvis i grunnvannsspeilet. Dersom grunnvannet synker noe, vil den bli liggende i mindre vannmettede lag.

Overvåking i profil ble gjennomført i både mettet og umettet sone. Temperaturene i kulturlagene påvirkes noe av sesongsvingninger, med høyeste verdier på 19,6–21,5 °C. Høyeste temperatur i grunnvannet var 16,2 °C. Gjennomsnittstemperaturen målt i profilsensorene var 12,8, 13,9 og 16,2 °C, mot grunnvannets gjennomsnittstemperatur på 13,2 °C. Temperaturene i kulturlagene og i grunnvannet ligger på samme nivå vinterstid, noe som tolkes dihten at båten ikke tilføres ekstra varme fra fjernvarmerør. Båten er heller ikke utsatt for frost (Bergersen 2013d).

Bevaringsforholdene målt i kulturlagene rundt middelalderbåten Tønsberg 1 har fremstått som stabile. Tønsberg 1 ligger i øvre del av mettet sone, og vil være sårbar for endrede grunnvannsforhold. Vi anser at det er vesentlig å notere seg at senket grunnvannstand vil kunne forårsake at båten kommer til å ligge enten i fluktusjonssonen eller i umettet sone. Begge deler vil være ekstremt skadelig for fortsatt in situ bevaring.

2.1.6 Storgaten 30–32 City Shopping / Tønsberg Torv / Foyen Kjøpesenter

I forbindelse med rehabilitering og utvidelse av stående bygg på tomte, har det vært initiert flere miljøovervåkingsprosjekter der i perioden 2010–2021 (se Figur 2). Det er aktive prosjekter der som ikke er ferdigrapportert (se ellers Tabell 15). Måleserien fra perioden 2013–2016 viste stabilt gode bevaringsforhold, men at temperaturen i grunnvannet var økt på grunn av bygget. Grunnvannsmålingene fra 2011 og 2014 indikerer også at grunnvannet var sunket som følge av grunnvannspumper i området.

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O., Petersén, A.	2010	NIKU Nr.158 2010. Bioforsk Vol. 5 nr. 149 2010	Storgaten 30-32, «City Shopping», Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke Arkeologisk forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold og bevaringstilstand fra grunnboring i forbindelse med nybygg	Arkeologisk forundersøkelse, jordkjemiprøver
Bergersen, O.	2012	Bioforsk rapport Vol 7 (9) 2012	Miljøovervåking av kulturminner fra miljøbrønn på tomten Storgaten 30–32, City Shopping i Tønsberg	Installasjonsrapport, statusrapport

Bergersen, O.	2015	Bioforsk rapport Vol.10 (56) 2014	Miljø overvåking av miljøbrønn MB5 & MB10, «Foyen eiendom», Tønsberg kommune, Vestfold Fylke.	Statusrapport I
Bergersen, O.	2016	NIBIO rapport vol 2 nr. 65	Overvåking av bevaringsforhold for kulturlag under «Foyen kjøpesenter» i Storgata 30–32 i Tønsberg Statusrapport II for miljøbrønn MB5 & MB10 i perioden 2013-15	Statusrapport II
Bergersen, O.	2015	Bioforsk vol 10 (45) 2015	Forundersøkelse fra pælehull ved Storgata 30–32 Foyen eiendom, Tønsberg kommune. Arkeologisk forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold fra grunnboring i forbindelse med nybygg	Installasjonsrapport med jordkjemiske prøver

Tabell 15: Rapporter fra Storgaten 30–32 City Shopping / Tønsberg Torv / Foyen Kjøpesenter.

2.1.6.1 Måledata

Miljøbrønn	Grunnvann	pH	Temperatur °C	Ledningsevne (mS cm ⁻¹)	Redoks mV
MB6	Synkende. 1,8-2,8 moh., fluktusjon på 1 m. Brønn gikk tørr pga. synkende grunnvann	3,2–9. Gj.sn: 6,1	6,4–18,5. Gj.sn: 13,8	0–15,2 Gj.sn: 1,3	(-456,3)–(296,1) Gj.sn: (-35,9)
MB5	Stabil. Fluktusjon på 0,9m	5,53–7,22 Gj.sn: 6,33	13,54–15,63 Gj.sn: 14,67	1,83–4,31 Gj.sn: 2,98	(-26)–(-498) Gj.sn: 444,5
MB10	Stabil. Fluktusjon 0,6 m	5,44–7,75 Gj.sn: 6,6	13,6–14,45 Gj.sn: 14,15	0,47–3,96 Gj.sn: 3,14	(-283)–(-502) Gj.sn: (-444)

Tabell 16: Sammenstilling av måledata fra Storgata 30–32.

2.1.6.2 Bakgrunn

På tomte Storgaten 30–32 har det vært en serie MOV-prosjekter siden 2010. Bygget på tomte heter for tiden Foyen kjøpesenter. I 2010 ble det gjennomført en arkeologisk forundersøkelse (prosjektnummer 1562846, navngitt City shopping / Tønsberg torv). Forundersøkelsen (Bergersen & Petersén 2010) inkluderte undersøkelse og dokumentasjon av kulturlag fra boresøyer, samt installasjon av to miljøbrønner. Målet var å undersøke effekten av fundamentering med peler på kulturlagene, samt å kartlegge utbredelse av kulturlag og moderne inngrep på tomte. Kulturlagene lå over, i og under grunnvann, men bevaringstilstand var registrert utelukkende som i forhold til fluktusjonssonen. Tykkelsen på intakte kulturlag varierte. Bevaringstilstanden var middels god eller bedre i de nedre lagene, og middels eller dårligere i de øvre lagene. Det ble installert miljøbrønner navngitt BP3 og BP6 med et femårig overvåkingsprogram (Bergersen og Petersén 2010). Undersøkelsen er inkludert i «Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo» (Petersén & Martens 2011).

I 2011 ble det gjennomført en arkeologisk undersøkelse under stående bygg (prosjektnummer 15620614, City shopping), med overvåking av bevaringsforhold for kulturlag, i forbindelse med utbygging og rehabilitering av eksisterende bygninger. Undersøkelsene i 2010 og 2011 viste at kulturlag i daværende bakgård, og under parkeringskjelleren, fantes bevart i et betydelig større volum enn antatt. Femårig måleserie ble igangsatt i MB6 (Bergersen 2012). Resultatene viste at grunnvannsnivået på tomte fluktuerte en del. Ved oppstart av måleperioden var forholdene stabilt reduserende. Etter inngrep har det blitt tilført mer regnvann med oksygen, men tilsynelatende i kortere perioder. Grunnvannet på tomten nær miljøbrønnene er blitt forstyrret. Uttørking vil ha negativ innvirkning på bevaringen av kulturlag *in situ*. Anleggsperioden eksponerte kulturlagene for mer nedbør, og dermed mer nedbryting. «Miljøovervåkingen viste at rive- og gravevirksomhet kan ha påvirket bevaringsforholdene i kulturlagene på tomten Storgaten 30–32 på en negativ måte. Overvåkingen har vist at grunnvannet hvor det ble påvist kulturlag har blitt forstyrret, trolig på grunn av grunnvannspumper i området» (Bergersen 2012b). MB6 ble installert i mars 2011, og gav data i mars–oktober 2011. Etter det ble brønnen tørr, og måleutstyret ble tatt opp.

I 2014 ble det etablert et nytt prosjekt i forbindelse med etablering av flere peler i eksisterende bygg (prosjektnummer 1020161, Foyn handlesenter). Dette prosjektet omfattet et treårig MOV-program, fra 2013–2017. Etter undersøkelsene i parkeringskjelleren ble det satt ned to miljøbrønner inne i bygget, i juni 2013 og i februar 2014: MB10 og MB5.

I 2016 ble det tatt ut jordkjemiske prøver fra boreprøver, og prosjektert for etablering av en ny miljøbrønn (prosjektnummer 1020892, Foynsenteret). Bygget skulle pelefosterkes ytterligere, i forkant av etablering av en ekstra etasje på taket av eksisterende bygg. Dette prosjektet skulle sørge for overvåking av kulturlag og grunnvannsstand i særlig den sørvestre delen av bygget, nærmest Nedre Langgate. Prosjektet er foreløpig ikke rapportert.

2.1.6.3 Avvik

Miljøbrønnen MB6 ble satt ned til 3 m fra overflaten. En skade i røret før overvåking medførte at sensorene stoppet ca. 2,6 m ned fra overflaten. Mot slutten av måleperioden gikk miljøbrønnen tørr for grunnvann, noe som også påvirket resultatene fra sensorene. Utstyret ble tatt opp for å unngå skader på det.

Etter feltarbeid i 2011 i parkeringskjelleren, ble MB10 og MB5 installert. Dette skjedde først i slutten av juni 2013 og i februar 2014. Forsinkelsene i installasjon og rapportering etter avsluttet feltarbeid skyltes usikkerhet rundt eierforhold og økonomi.

Da Bioforsk i februar 2014 skulle installere måleutstyr i MB5 viste det seg at røret stod uten lokk, og var fylt med leire og slam. Det ble gjort forsøk på å rense røret manuelt, men det kan hende at tiltakene på stedet var utilstrekkelige og at deler av røret fortsatt er tett, slik at måledata var upålitelige.

2.1.6.4 Resultater

I 2014 ble det rapportert foreløpige data fra MB5 og MB10. MB10 (juli 2013 til februar 2014) hadde grunnvann på 2,8–3 moh. (se Tabell 16). Kulturlagene der var registrert på 2,6–3,6 moh., så kulturlagene ligger i mettet og umettet sone. MB5 (februar 2014) hadde grunnvann på ca. 2,4–2,5 moh., og kulturlag fra ca. 2,1–4,0 moh., så hovedsakelig i umettet sone. Grunnvannspeilet hadde sunket i forhold til boring i 2011. Grunnvannspumper i nærliggende områder var trolig årsak til at de vannmettede kulturlagene mister fuktighet i hurtig tempo. Ved MB5 kan manglende tildekking av røret ha gitt upålitelige måledata. De unormale svingningene i grunnvannsnivå gjorde det ønskelig å etablere en miljøbrønn godt unna grunnvannspumpene, for å skaffe et referansegrunnlag for grunnvannsnivået.

I statusrapport I (2013–2014) og statusrapport II (2014–2015) skrives det at resultatene fra kulturlagsovervåkingen viser stabile bevaringsforhold, med unntak av siste periode, hvor det ble observert en temperaturøkning i grunnvannet med en stigning på 4–5 grader. Dette kan være et resultat av nybygget kjøpesenter. Grunnvannsnivået har stabilisert seg etter ferdigstilling av bygget, og fluktuierer noe med nedbørmengden. Grunnvannstemperaturen i MB10 var stabil, men steg noe i MB5. MB5 påvirkes trolig av temperaturen i butikklokalet, og fluktuierer ikke med utetemperaturen. Begge brønnene påvirkes av varme fra kjeller og hus. Overvåking i fem år fra en brønn uten påvirkning fra hus viste middeltemperatur i grunnvann på 9–10 grader, som til sammenligning utgjør opp til 4–5 grader forskjell i temperatur. En slik økning i temperatur kan videre øke nedbrytningshastigheten vesentlig. Grunnvannet har lite oksygen, noe som begrenser nedbrytningshastigheten. Ledningsevnen var svingende tidlig i overvåkingsperioden, men stabiliserte seg på omkring 2.8 mScm⁻¹ etter at bygget var ferdig. pH er relativt lav i begge brønner, og steg til 7.5 i MB10 og 7.0 i MB5. Redoks-sensorene viste lave verdier, ca. -400 mV. Bevaringsforholdene i grunnvannet tolkes dermed som relativt gode.

Etter miljøovervåking i perioden 2013 til mars 2016 konkluderes det med at det er et tilfredsstillende grunnvannsnivå under bygget, og at kulturlag i mettet sone vil ha fortsatt gode bevaringsforhold. Temperaturen ligger 4–5 grader høyere sammenliknet med miljøbrønner som ikke er direkte påvirket

av bygg. Temperaturøkningen skyldes trolig at nytt bygg øker temperaturen på grunnvannet under bygget. Det konkluderes med at «nytt bygg har så langt ikke virket destabiliserende for de underliggende kulturlagene».

Flere miljøovervåkingsprosjekter initiert i perioden 2010–2021. Det er aktive prosjekter der som ikke er ferdigrapportert. Vi vurderer at økte grunnvannstemperaturer er destabiliserende for fortsatt bevaring av kulturlagene. Det er i tillegg registrert mange mulige feilkilder i målingene. Vi vil også minne om at man allerede ved prosjektstart så negativ påvirkning på kulturlagenes bevaring. Dette vil derfor være et område, man bør overveie å overvåke videre.

2.1.7 Foynkvartalet

I forkant av byggeprosess på Foynkvartalet er det igangsatt et femårig miljøovervåkingsprosjekt (NIKU prosjekt 1021240) (se Figur 2). Måleserien startet i januar 2019, og første statusrapport foreligger (se Tabell 17). I 2018 ble det gjennomført arkeologisk undersøkelse av åtte borepunkt, med uttak og analyse av jordkjemiske prøver. Det er fire aktive miljøbrønner på tomta.

Forfatter	År	Rapportnummer	Tittel	Rapporttype
Halvorsen S. W. & A. J. Dinning	2018	NIKU oppdragsrapport 12/2018	Foynkvartalet, arkeologisk forundersøkelse av kulturlagenes bevaringsforhold og bevaringstilstand	Installasjonsrapport
Henninge, L. B., Olsen, S. B.	2020	NIKU rapport 105	Bevaringsrapport: Foynkvartalet, Tønsberg resultater pr. 1. Sept. 2020	Statusrapport II

Tabell 17: Rapporter fra Foynkvartalet.

2.1.7.1 Måledata

Miljøbrønn	Grunnvann	Ph	Temperatur °C	Ledningsevne (mS cm ⁻¹)	Redoks mV	Oksygen
BP2	Fluktuasjon Stor variasjon; 1,2–5 - 3 m	Stabil 6–7 Surere om vinter (3–4)	6–13 Ujevne svingninger	Økt	Ustabil	Økt oksygeninnhold, ustabil
BP4	Mettet stabil 1,5 m	Stabil nøytral, sommer og høst fall til 4	7–13 Svingninger	Synkende	Reduserende	Ikke målbart
BP6	Mettet stabil 0,7–1 m	Stabil nøytral, svakt stigende	7–14 Skarpe svingninger	Noe synkende	Reduserende	Ikke målbart
BP8	Mettet stabil	Økt mot nøytral	8–12 Stabile svingninger	Synkende	Stabilisert rundt -450	Ikke målbart

Tabell 18: Sammenstilling av måledata fra Foynkvartalet.

2.1.7.2 Bakgrunn

I forbindelse med planlegging av nybygg på tomten ble det i 2018 gjennomført en forundersøkelse (prosjektnummer 1020240). Det ble boret på åtte punkter, og foretatt en arkeologisk og jordkjemisk vurdering av de påtrufne kulturlagene (Halvorsen & Dinning 2019). Det ble installert fire miljøbrønner (BP2, BP4, BP6 og BP8), med et femårig overvåkingsprogram. Første statusrapport foreligger (se Tabell 17).

2.1.7.3 Avvik

Måleutstyr ble aktivert først i januar 2019, det foreligger ikke måledata fra 2018.

2.1.7.4 Resultater

Måledata (se Tabell 18) fra BP2 viser at pH lå stabilt rundt 6–7, med noe surere forhold vinterstid (3–4). Ledningsevnen økte med redusert pH, og oksygeninnhold og redokspotensiale var meget ustabil i

hele måleperioden. Det tyder på at det stadig kommer inn noe oksygen som øker redokspotensialet. Veisalting og mindre grunnvannsfluktuasjon om vinteren kan være årsak. Grunnvannstanden i området fluktuerte 1,25–3 m gjennom året. Bevaringsforholdene vurderes som middels til dårlig for uorganisk og organiske materiale.

I BP4 lå pH stabilt nøytralt, men med to perioder med pH rundt 4 (forsommer 2020, august 2020). Periodene med lavere pH følges av økt ledningsevne. Vannstanden i miljøbrønnen har holdt seg relativt stabilt rundt 1,5 m (under asfalt). Redoksnivåene viser sulfatreduserende prosesser. Oksygeninnholdet er stort sett ikke målbart, noe som tyder på forbedrede bevaringsforhold.

BP6 har stabilt nøytral pH, svakt stigende frem mot september 2020. Ledningsevnen er noe synkende. Vannstanden er relativt stabil i området 0,7–1,0 m (under asfalt). Redokspotensialet viser sulfatreduksjon til sulfid, og det er svært lite oksygen i lagene. Bevaringsforholdene for organisk og uorganisk materiale er derfor vurdert som bra.

BP8 viser at pH har økt til nøytrale forhold, og ledningsevnen er noe redusert. Vannstanden har holdt seg stabil rundt 1 m under asfalt, så det er lite sjøvannsinntrenging. Redoksforholdene har stabilisert seg på ca. -450 mV og oksygenelektroden ligger på 0% O₂. Dette viser at bevaringsforholdene har bedret seg siden installasjonen av sensorer og uttaket av jordprøvene i juni 2018.

I dette prosjektet ser vi bra og stabile eller til og med forbedrede bevaringsforhold i løpet av overvåkingsperioden. Det er interessant og positivt for denne delen av middelalderbyen, særlig om man sammenligner med de observerte og målte forhold på nabotomten (se avsnitt 2.1.6).

2.1.8 MOV-program for Tønsberg / MABYMOV

Miljøovervåkingsprogram for Tønsberg inkluderer så langt én miljøbrønn (To3) og to piezometerbrønner (To2a1 og To2a2) (se Figur 2). De første måledata herfra vil foreligge i 2022.

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Martens, V. V., Hovd, L., Dunlop, A. R. Olsen, S. B., Henninge, L. B., Voellmecke, M.	2020	NIKU Rapport 99	Statusrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og To1 pr. 31. Mars 2020 Middelalderbyene Bergen og Tønsberg	Statusrapport
Martens, V. V., Dunlop, A. R. Olsen, S. B., Henninge, L. B., Engebreetsen, J., Voellmecke, M.	2021	NIKU rapport 106	Statusrapport MABYMOV pr. 31. mars 2021, miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og To1. Middelalderbyene Bergen og Tønsberg	Statusrapport

Tabell 19: Rapporter fra MABYMOV Tønsberg.

2.1.8.1 Bakgrunn

I januar 2020 ble det boret for å etablere en miljøbrønn betegnet To1 i Tollbodgaten. Forholdene på stedet passet ikke for installasjon av overvåkingsutstyr, da fjell ble påtruffet før grunnvann. Det ble derfor kun gjennomført prøveuttaking og tilstands- og bevaringsanalyser. Utstyret tiltenkt To1 ble i stedet benyttet ved eksisterende miljøbrønn To3 (eldre brønn fra Peleprosjektet, boret i 2006) i Møllegaten, ved hotell Klubben i 2021. To eldre piezometerbrønner ved Nedre Langgate 40 ble også instrumentert i 2021, disse er navngitt To2a1 og To2a2.

2.1.8.2 Resultater

Da det ikke var mulig å etablere miljøbrønn ved To1, ble det i stedet reetablert og instrumentert miljøbrønn i To3 samt installert utstyr i to av de tre piezometerbrønnene i To2a1 og To2a2 (se Tabell 19). Første rapport vil foreligge i 2022.

Både ved boreundersøkelsen i Peleprosjektet og i Nedre Langgate 40 er det tidligere foretatt miljøovervåking i form av prøvetaking. Disse vil bli inkludert som referansemateriale i den kommende rapporten. Se også Reed & Martens 2008.

2.1.9 Samlet oppsummering for Tønsberg

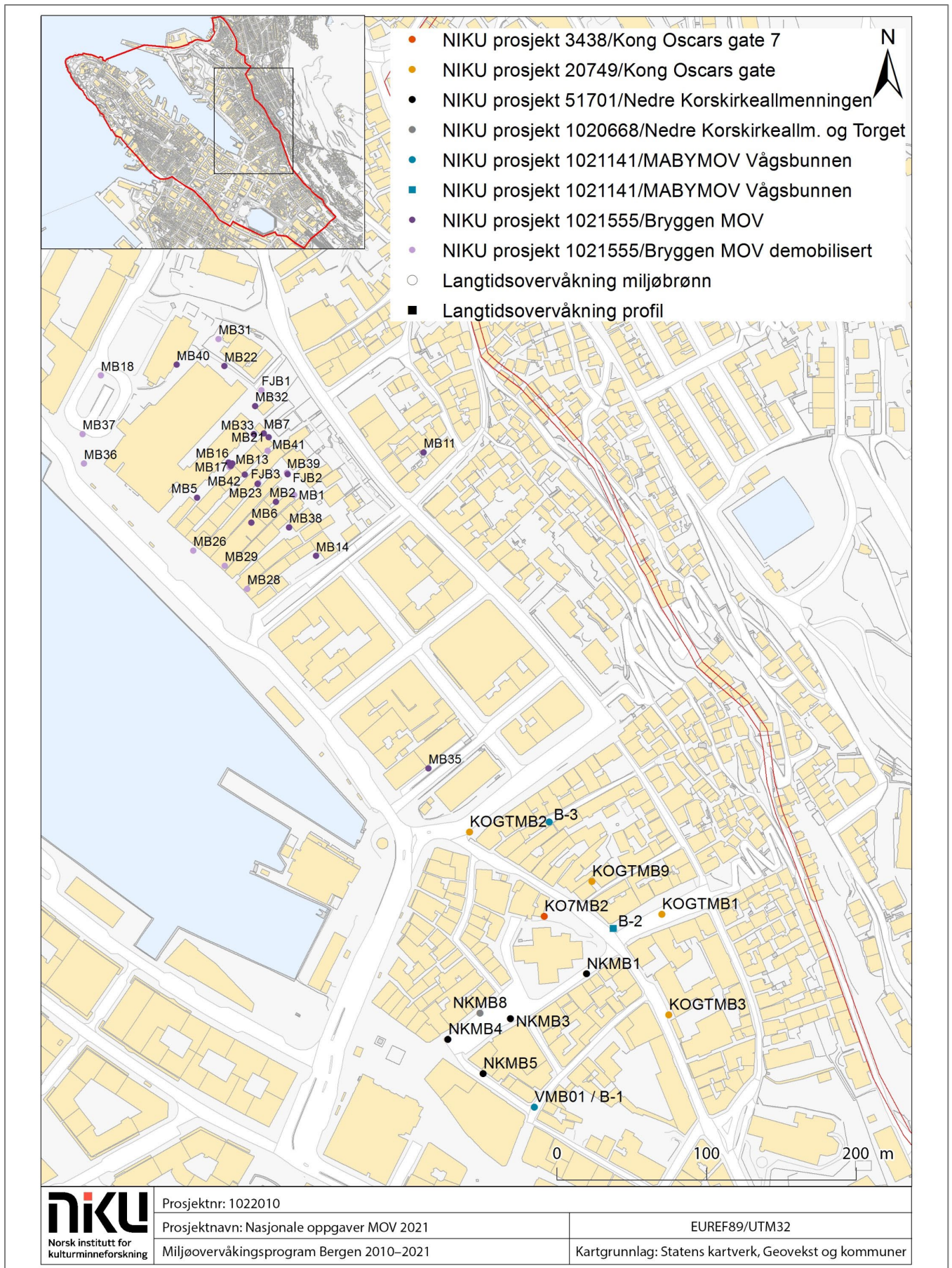
De fleste av de gjennomførte MOV prosjekter i Tønsberg er avsluttet. De som fortsatt overvåkes ser inntil videre ut til å måle stabile og til og med forbedrede bevaringsforhold. Det blir interessant å følge fremtidige prosjekter, særlig i lyset av at mange av de avsluttede prosjektene har påvist aktiv nedbrytning og dårlige eller til og med forverrete bevaringsforhold etter gjennomføring av tiltakene.

2.2 Bergen

Miljøovervåkningsprosjektene i Bergen (se Figur 3) kan deles i to hovedgrupper: Vågsbunnen og Bryggen (se Tabell 20).

NIKU prosjektnr.	RA saksnr.	Gateadresse / prosjektnavn	Miljøbrønn	Status	MOV periode
156351701 1020668	10/01765	Nedre Korskirkeallmenningen & Torget	NKMB1, NKMB2, NKMB3, NKMB4, NKMB5, NKMB6, NKMB7, NKMB8	Avsluttet	2011-2016
15621094, 15620916	12/00399	Vågsbunnen MOV	VMB01, VMB02	Avsluttet	2012-2017
1021141	16-02050	MABYMOV Vågsbunnen	B1 (fortsettelse av VMB01), B2, B3	Åpen	2019-
15620749	10/01772-9	Kong Oscars gate	KOGTMB1, KOGTMB2, KOGTMB3, KOGTMB9, KO7MB2	Avsluttet	2013-2018
1021555	06/02802-177	Bryggen MOV	Gjenanvendelse av eldre brønner	Åpen	2019-
15620162-1	09/01640	Øvregaten 19 MOV	Profil i overgangssone/mettet sone	Avsluttet	2013-2017
15621249-2	08/00262	Finnegården 1A MOV	MB48, MB49	Åpen	2014-
1561329---	06/02802---	Miljøbrønner Bryggen	MB1-MB49 + FB1 + FJB1-FJB3	Avsluttet	2002-2016

Tabell 20: Miljøovervåkningsprogrammer i Bergen.



Figur 3: Kart over aktive miljøovervåkningsprogrammer i Middeltalderbyen Bergen. Kart: NIKU.

2.2.1 Vågsbunnen

2.2.1.1 Kong Oscars gate grunnboringer 2012–2017

Det foreligger rapporterte data fra 4 års miljøovervåking fra Kong Oscars gate i Bergen (se Tabell 21). Overvåkingen er underlag for vurdering av bevaringsegenskaper til grunnvannet og omkringliggende kulturlag. I 2012 ble det foretatt 26 naverboringer og analysert jordkjemiprøver fra disse (Bergersen & Lorvik 2013, Jensen 2012, prosjektnummer 15620749). Det ble anlagt ni miljøbrønner i alt. KOGTMB1, KOGTMB2, KOGTMB3, KOGTMB4 og KOGTMB9 lå i Vågsbunnen. KOGTMB5, KOGTMB6, KOGTMB7 og KOGTMB8 lå lenger sørøst langs Kong Oscars gate opp til Danckert Krohns gate. Miljøovervåkingsprosjektet var løp fra 2013–2018. Det ble montert loggere i 4 brønner (MB1, MB2, MB3, MB9), samt en eksisterende brønn på Korskirken kirkegård (KOGTMB2) med logging fra november 2012 NIKU prosjekt 1563438 (se Figur 3). Multiconsult tok vannprøver fra 9 brønner. Miljøovervåkingen er avsluttet og prosjektet beskrives som ferdig rapportert. Sluttrapport foreligger (Bergersen 2018).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O. & Lorvik, K.	2013	Rapport NIKU Nr. 44/2013 Bioforsk Vol 8 Nr. 48 2013	Rapport NIKU Nr. 44/2013 Bioforsk Vol 8 Nr. 48 2013 Grunnboringer i Kong Oscars gate og sidegater, Bergen kommune, Hordaland Fylke Arkeologiske og jordkjemiske undersøkelser samt miljøovervåking ved kartlegging av kulturlag, bevaringstilstand og -forhold	Installasjonsrapport, arkeologisk rapport, jordkjem
Jensen, J. A.	2012	Jensen, J. A.	Jensen, J. A. 2012. Kong Oscars gate og Vågsbunnen Opprusting av gater og byrom. 31. oktober 2012. Multiconsult rapport 613883	Jordkjemiprøver
Lorvik, K.	2013	Statusrapport, notat	Status rapport på etablerte miljøbrønner i Kong Oscars gt. og befaring av gamle brønner i Vågsbunnen, oktober Bergen.8. okt. 2013	Statusnotat
Bergersen, O. & Nytrø, T. E.	2014	Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 57, 2014	Overvåking av miljøbrønner i arkeologiske kulturlag fra Kong Oscars gate i Bergen. Statusrapport 1, 2012 til 2013	Statusrapport I
Bergersen, O.	2015	Bioforsk rapport Vol 10. nr.83. 2015	Bergersen, O. 2015. Overvåking av grunnvann i miljøbrønner med arkeologiske kulturlag fra Kong Oscars gate i Bergen. Statusrapport II	Statusrapport II
Bergersen, O.	2017	NIBIO rapport vol 3 2017	Miljøovervåking fra miljøbrønn i Kong Oscars gate, Bergen - Status rapport III	Status rapport III
Bergersen, O.	2018	NIBIO rapport Vol 4 2018	Miljøovervåking fra miljøbrønner i Kong Oscars gate, Bergen. Sluttrapport 2013-2017	Sluttrapport

Tabell 21: Rapporter fra Kong Oscars gate grunnboringer perioden 2010–2017.

2.2.1.1.1 Måledata

Brønn / Profil	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm ⁻¹	Redoks mV	Oksygen %
KOGTMB1	Fluktuasjon 3,2 m	7,9–10,8 Gj.sn: 9,0	5,4–6,7. Gj.sn: 6,3	2,1–12,3 Gj.sn: 9,6	-503 til 169 Gj.sn: 98	0,12–0,16 Gj.sn: 0,15
KOGTMB2	Fluktuasjon 0,3 m	8,3–11,3 Gj.sn: 9,8	4,9–7,7. Gj.sn: 6,2	0,6–3,2 Gj.sn: 0,9	-367 til 165 Gj.sn: 20	0,12–0,18 Gj.sn: 0,14
KOGTMB3	Fluktuasjon 0,4 m	9,6–12,5 Gj.sn: 11 /11,4	5,9–8,6. Gj.sn: 6.7/8	0,2–0,4 Gj.sn: 0,9 /0,2	-525 til -9 Gj.sn: -412/-487	0,12–0,67 Gj.sn: 0,13

Brønn / Profil	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm ⁻¹	Redoks mV	Oksygen %
KOGTMB9	Fluktuasjon 0,9 m	10,0–14,5 Gj.sn: 10,8/12,5	5,1–8,4 Gj.sn: 6,3/7,9	0,0–2,0 Gj.sn: 0,9 /0,5	521 til 490 Gj.sn: -416 / -60	0,13–8,83 Gj.sn: 0,74
KO7MB2	–	–	–	–	–	–

Tabell 22: Sammenstilling av måledata fra 2012–2017 (Bergersen 2017).

2.2.1.1.2 Avvik

KOGTMB1: Sensor satt fast ved befarings i 2013. Verdier målt fra overvåkingsutstyret viser gale verdier i forhold til kontrollverdiene målt ved befarings oktober 2013. Vi mangler kontinuerlige troverdige data av pH og ledningsevne fra januar til august 2013. Slam, veisalt og skitt har tettet og gitt unormale verdier. Brønnen ble spylt og sensorene tatt inn for kalibrering. Sensorene var i drift med normale verdier fra mars 2014, men det mangler data fra en periode før dette i 2014.

Skade på KO7MB2 medførte at installasjon av den femte brønnen skjedde i oktober 2013, et år etter de andre fire brønnene. Måleserien der ble kort, og er i liten grad rapportert.

I KOGTMB9 falt trådløs kommunikasjon ut pga. antennebrudd etter nyttår 2013, og data måtte hentes manuelt. I KOGTMB1 måtte redokssensor skiftes ut. I 2014 ble det derfor rapportert med mangelfulle måleserier fra KOGTMB1 og KOGTMB9. KOGTMB9 sluttet å virke januar 2016. KOGTMB3 var feilkonstruert og overvåkingen kunne først starte i januar 2013, før dette avga brønnen feilaktige data.

Strømforbruk og utstyrssvikt pga. salt fra overvann har skadet og ødelagt utstyr i flere brønner. Korrosjonsproblemer med antenner har også vært et problem i flere av miljøbrønnene, noe som vanskeliggjør innhenting av data. I statusrapport III forelå kun nye data fra KOGTMB3 og -9. Utstyr satt ut i miljøbrønn KOGTMB1 gikk i stykker i perioden 2013 til 2015 og har vært skiftet en gang tidligere i 2014. I siste periode har også utstyret fra miljøbrønn KOGTMB2 gått i stykker pga. frost og korrosjonskader fra salting av vei og fortau. Miljøovervåkingsutstyret i miljøbrønnene KOGTMB1 og KOGTMB2 har blitt ødelagt av overflatevann og frostskafer og data fra disse brønner mangler de to siste årene av den planlagte måleperioden.

2.2.1.1.3 Resultater

Grunnvannet lå stabilt i KOGTMB2 og KOGTMB3, mens KOGTMB9 var påvirket av varierende nedbørnivå (se **Tabell 22**). KOGTMB1 gav ustabile målinger, og var ikke i normal drift før i mars 2014. Grunnvannet målt MB2, MB3 og MB9 viste tegn på gode bevaringsforhold for nærliggende kulturlag. Noe mer variasjon og forandringer er observert i miljøbrønn ved Korskirken, men måleserien var kort der. Det siste året var det kun miljøbrønnene KOGTMB3 og KOGTMB9 som var i drift. Grunvnansnivået i KOGTMB3 var relativt stabilt, mens det var mer nedbørspåvirket i KOGTMB9. I miljøbrønn KOGTMB9 er det påvist lite grunnvann i brønnen i perioder med lite nedbør.

pH i første periode av overvåkingsserien lå på 6,3 for KOGTMB1, KOGTMB2 og KOGTMB9, og 6,7 i KOGTMB3 lå rundt 6.7. pH verdiene i de to siste gjenværende brønnene KOGTMB9 og KOGTMB3 steg opptil 7–8 i løpet av 2015–2016. KOGTMB3 viste størst stabilitet, mens det var variasjoner utfra nedbørsmengde i KOGTMB2 og KOGTMB9. pH-verdiene og ledningsevnen har fluktuert i perioder fra KOGTMB9 og viser til tider ustabile verdier ved at miljøbrønnen i nedbørsfattige perioder ikke har stabilt grunnvann. Ledningsevnen i KOGTMB3 og KOGTMB9 ligger stabilt lavt mellom 0,2 (KOGTMB3), og 0,5–0,9 mScm⁻¹ (KOGTMB 9 og KOGTMB2). MB2 så også ut til å være påvirket av salting i nedbørsrike perioder. Alle miljøbrønnene viste lavt innhold av oksygen, rundt 1–0,2 mgL⁻¹ i miljøbrønnene KOGTMB3 & KOGTMB9. Gjennomsnittverdien er noe høyere i KOGTMB9 siden denne har lite grunnvann i nedbørsfattige perioder. Lite oksygeninnhold samsvarer med negative redoksverdier målt i grunnvannet. I KOGTMB1, KOGTMB2 og også KOGTMB9 var det nedtrenging av overflatevann og redokstall opp mot 200 mV, men KOGTMB3 og KOGTMB9 viste reduserende forhold. I KOGTMB2 lå redokspotensialet nær 20mV. I siste år lå det på -37– -60 mV i KOGTMB9 og ned til -490 mV KOGTMB3, hvor det var svært lite oksygen. Temperaturen i grunnvannet lå

gjennomsnittlig rundt ca. 11,5 °C i KOGTMB3 og ca. 12.5 i KOGTMB9. Temperaturen økte 1–2 grader over de siste to årene med overvåking. Høyere grunnvannstemperatur i KOGTMB9 skyldes perioder med lite grunnvann slik at temperaturen er noe påvirket av temperaturen i miljøbrønnen. Målingene i hele måleperioden 2012 ut 2016 viser at temperaturen svinger svakt med utetemperaturen.

Miljøbrønn KOGTMB3 viste stabilt gode bevaringsforhold, mens det fluktuerer en del i KOGTMB9 som er mye mer påvirket av variasjoner i nedbørmengder og lavt grunnvannsspeil. Dette skjer kun i korte perioder, men slik variasjon kan påvirke bevaringen av kulturlagene i nærheten av miljøbrønn KOGTMB9 negativt. Grunnvannets temperatur viser noe økning, noe som kan være forårsaket av økt nedbrytning i lagene.

Ni miljøbrønner anlagt, overvåket 2013-2018. Fire miljøbrønner instrumentert pluss en eksisterende på Korskirkeallmenningen. Mye utstyrsskader og brudd i måleserier. Det er stor variasjon i stabiliteten i bevaringsforholdene mellom særlig KOGTMB3 og KOGTMB9. I den senere tiden påvirkes grunnvannstanden direkte av nedbør, og det ser ut som om det pågår aktiv nedbrytning av organisk materiale. KOGTMB9 bør derfor være en brønn å merke seg for mulig fortsatt miljøovervåking.

2.2.1.2 Nedre Korskirkeallmenningen og Torget

I 2010 ble det gjennomført 12 naverboringer på Korskirkeallmenningen (prosjektnummer 156351701, Bergersen & Dunlop 2011; prosjektnummer 1020668, Dunlop 2016a). Det ble anlagt fire miljøbrønner, betegnet NKMB1, NKMB3, NKMB4 og NKMB5 (se Figur 3). Disse ble ikke aktivisert før i 2015. Det foreligger måledata fra 2015 og 2016 for brønnene NKMB3, NKMB4 og NKMB5. Ved NKMB3 var det tekniske problemer med batteriene. Det foreligger ikke sammenhengende måleserier, men vannprøver tatt i juli 2015 og 2016 av pH, ledningsevne og vannstand og vanninnhold (data fra prosjektmappe). I 2016 ble det utført grunnundersøkelser i området Nedre Korskirkeallmenningen og Torget. Dette inkluderte fem naverboringer (Dunlop 2016a), med en kort miljøbrønn i tre borepunkt. Miljøbrønnene er betegnet NKMB6, NKMB7 og NKMB8. Miljøbrønnene er i bruk i forbindelse med overvåking av influensområdet etter etablering av anlegg for infiltrasjon av overvann på allmenningen. I 2013 publiserte Bioforsk «Vurdering av kjemisk kvalitet av grunnvannet i tilknytning til kulturminner i jord – Kong Oscars gate og Nedre Korskirkeallmenningen» (Haarstad 2013). Det foreligger noen relevante måledata i prosjektet. Det var aldri planen at disse brønner skulle brukes i et MOV-program, og disse data er derfor ikke inkludert her. Arkeologisk rapport foreligger (se Tabell 23).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O. & Dunlop, A. R.	2011	NIKU Oppdragsrapport 74/2011. Bioforsk Vol 6 Nr. 46 2011	Arkeologiske og geokjemiske undersøkelser av kulturlag fra Nedre Korskirkeallmenningen, Vågsbunnen, Bergen kommune, Hordaland fylke. Forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold og bevaringstilstand	Arkeologisk forundersøkelse, jordkjemiprøver
Dunlop, A. R.	2016a	NIKU Oppdragsrapport 38/2016	Nedre Korskirkeallmenningen & Torget, Bergen: Arkeologisk registrering ved fem naverboringer	Oppdragsrapport
Dunlop, A. R.	2016b	NIKU Oppdragsrapport 170/2016	Miljøovervåkningsplan Vågsbunnen, Middelalderbyen Bergen	Områdeplan MOV
Haarstad, K.	2013	Bioforsk rapport nr 8 (165) 2013	Vurdering av kjemisk kvalitet av grunnvannet i tilknytning til kulturminner i jord – Kong Oscars gate og Nedre Korskirkeallmenningen, Bergen	Vannkjemiprøver

Jensen, J. A.	2012	Multiconsult rapport 613883	Kong Oscars gate og Vågsbunnen Opprusting av gater og byrom. Grunnundersøkelser og fundamentering Setninger, kulturlag og grunnvann. 31. oktober 2012	Grunnundersøkelser, vannkjemiprøver
---------------	------	-----------------------------	--	-------------------------------------

Tabell 23: Rapporter fra Nedre Korskirkeallmenningen og Torget.

2.2.1.2.1 Måledata

Miljøbrønn	Grunnvann	pH	Ledningsevne (mS cm ⁻¹)
NKMB1	Fluktuasjon mellom kote ca. 2–2,25 16.9.16-8.11.16	6,6: vannprøve 6.7.16	100: vannprøve 6.7.16
NKMB3		6,7: vannprøve 2.7.15	100: vannprøve 2.7.15
NKMB4	Fluktuasjon mellom kote ca. -0,84–0,84 hovedsakelig mellom 0,1–0,75 15.5.14-8.11.16	6,5: vannprøve 2.7.15 6,5: vannprøve 6.7.16	390: vannprøve 2.7.15 270: vannprøve 6.7.16
NKMB5		6,6: vannprøve 2.7.15 6,6: vannprøve 6.7.16	440: vannprøve 2.7.15 480: vannprøve 6.7.16
NKMB8	Fluktuasjon mellom kote ca. 0,55–0,65 22.7.16-8.11.16	6,6: vannprøve 6.7.16	330: vannprøve 6.7.16

Tabell 24: Sammenstilling av måledata fra Nedre Korskirkeallmenningen og Torget, fra brønner som inkluderte flere parametere enn kun grunnvannstand.

2.2.1.2.2 Avvik

Ved NKMB3 var det periodevis tekniske problemer med batteriene.

2.2.1.2.3 Resultater

Det foreligger ikke rapport som trekker konklusjoner fra dataene (se Tabell 25, Tabell 26 og Tabell 27).

Sample ID	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	EL	pH
KOGTMB1	76	24	4500	32	238	6	7300	21000	6.6
KOGTMB2	64	4	87	10	162	42	160	790	6.6
KOGTMB3	28	3	13	6	146	30	15	230	6.5
KOGTMB4	40	4	75	11	144	15	96	510	7.9
KOGTMB5	15	2	28	3	106	8	30	200	7.0
KOGTMB7	36	2	15	3	142	8	26	250	6.6
KOGTMB8	28	2	5	6	1270	11	11	170	8.1
NK2MB1	270	120	280	46	1430	36	730	4000	6.7
NKMB1	38	3	130	8	512	29	180	870	6.6
NKMB4	190	110	480	35	1110	43	1000	4500	6.6
NKMB5	150	89	540	37	1340	43	860	4200	6.6
KO7MB1	120	6	39	8	234	2	220	11000	6.6
KO7MB2	130	7	270	10	391	17	640	23000	6.4

Tabell 25: Kjemisk sammensetning av grunnvannsprøver – hovedstoffer (i mg/l unntatt EL i mS/cm, og pH).

Sample ID	CH ₄	S-	NH ₄	NO ₃	NH ₄ /NO ₃	Fe	CO ₂	OrgC-%	Vann-%	Redox
KOGTMB1	1.90	0.46	1.10	0.25	4.40	20	250	17	45	4.0
KOGTMB2	0.16	0.14	0.79	0.25	3.16	6.90	196	26	46	4.5
KOGTMB3	0.005	0.08	0.36	0.25	1.44	0.49	210	29	55	3.3
KOGTMB4	0.005	0.01	0.01	2.50	0.01	0.65	14	7	24	2.0
KOGTMB5	0.005	0.02	0.003	8.2	0.01	1.4	69	5	25	1

Sample ID	CH ₄	S-	NH ₄	NO ₃	NH ₄ /NO ₃	Fe	CO ₂	OrgC-%	Vann-%	Redox
KOGTMB7	0.005	0.02	0.003	8.4	0.01	0.32	175	56	70	4
KOGTMB8	0.005	0.05	0.05	0.25	0.21	4.5	78			
NK2MB1	0.09	0.68	90	0.25	360	0.83	1409	35	61	4
NKMB1	0.005	0.05	0.87	0.25	3	2.5	620	34	54	4
NKMB4	0.005	0.68	61	0.25	244	0.12	1270	39	60	4
NKMB5	0.005	0.70	61	0.25	244	1.30	1540	37	62	4
KO7MB1	0.005	0.09	7.70	0.5	31	39	281	78	76	4
KO7MB2	5.6	0.04	3.40	0.5	14	110	593	44	70	4

Tabell 26: Kjemisk sammensetning av grunnvannsprøver-redoks (mg/l unntatt redoks).

	Dato	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	CL	CH ₄	S-	NH ₄	NO ₃	Fe
KOGTMB1	Des-10	120	6.2	39	7.6	2.2	220	0.005	0.09	7.7	<0,5	39
	Mai-13	76	24	4500	32	6	7300	1.90	0.46	1.10	<0,5	20
KOGTMB2	Des-10	130	7	270	10	17	640	5.60	0.04	3.40	<0,5	110
	Mai-13	64	4	87	10	42	160	0.16	0.14	0.79	<0,5	6.90

Tabell 27: Endring i vannkvaliteten over tid (to prøver) i KOGTMB1 og KOGTMB2.

Som et ledd i MOV prosjektet ble det foretatt sammenligning over tid av vannprøver fra to miljøbrønner. Som det kommer frem av Tabell 27, skjer det betydelige endringer i grunnvannskjemien over tid, men ikke nødvendigvis til det bedre. Eksempelvis er det en voldsom økning av salt i KOGTMB1, noe som indikerer direkte inntrengning av veisalt i grunnvannet. Salt er veldig nedbrytende for metall, og mengden av jern (Fe) er da også halvert ved måling nr 2 (og redusert til 6% i KOGTMB2, der saltinnholdet er redusert til en tredjedel i forhold til første måling). Mengden av metan (CH₄) er i miljøbrønn KOGTMB1 økende, noe som normalt er bra for bevaring av organisk materiale, mens det er sterkt redusert i den andre brønnen. I begge brønner måles sterkt redusert innhold av kalsium (Ca) ved måling nr 2, noe som indikerer at bein blir nedbrutt. Dette illustrerer hvor kompleks vannkjemi kan være, og hvor vanskelig det kan være derifra å vurdere arkeologiske bevaringsforhold.

2.2.1.3 Vågsbunnen MOV

I 2012 ble det etablert to miljøbrønner i Vågsbunnen (prosjektnummer 15621094 (MOV) og 15620916 (arkeologisk undersøkelse) (se Figur 3): hhv. Bergersen 2014; Dunlop 2013; se Tabell 28). Miljøovervåkingsprogrammet løp fra 2012–2017. Brønnene benevnes VMB01 og VMB02. Det har vært noen problemer med begge brønnene, slik at måleseriene ikke er sammenhengende. Merk at brønnen VMB01 i Vågsbunnen er den samme brønnen som den som omtales som VMB01 / B1 i forbindelse med MABYMOV. B1 har tidligere fått feil kartfesting, men det dreier seg om den samme brønnen.

Forfatter	Ar	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O.	2016	VOL.:2, NR. 99, 2016 NIBIO RAPPORT	Miljøovervåking fra miljøbrønner etablert i Skostredet (VMB01), Bergen Status rapport II	Statusrapport II
Bergersen, O.	2015	Rapport Bioforsk Vol 10 Nr. 84, 2015	Miljøovervåking av miljøbrønner etablert i Skostredet (VMB01) og Vågsallmenningen (VMB02), Bergen Status rapport I	Statusrapport I
Bergersen, O.	2013		Status rapport på etablerte miljøbrønner i Kong Oscar gt. og befaring av gamle brønner i Vågsbunnen, oktober Bergen 8.okt 2013	Statusnotat

Bergersen, O.	2014	Rapport Bioforsk Vol 9 Nr. 41, 2014	Geokjemiske kartlegging av kulturlag fra nye miljøbrønner etablert i Skostredet (VMB01) og Vågsallmenningen (VMB02), Bergen Forundersøkelse av bevaringsforhold i kulturlag	Forundersøkelse, jordkjemi
Dunlop, A. R.	2013	NIKU oppdragsrapport 64/2013	VÅGSBUNNEN, BERGEN Rapport om arkeologisk undersøkelse av to naverboringer, 2012	Arkeologisk undersøkelse

Tabell 28: Rapporter fra Vågsbunnen MOV.

2.2.1.3.1 Måledata

Brønn	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm ⁻¹	Redoks mV
VMB01	Mettet fluktuasjon +1–1,7 m, 0,3–1,7 m Gj.sn: ca. 0,9 m	Stabil Ca. 10,8	Steget, stabilisert rundt 7 (4,7–7,2) Gj.sn: 7 siste år (2016)	Synkende ledningsevne 0,09–6,52, Gj.sn: 1,06 siste år (2016)	(-509)–(-199), Gj.sn: siste år: -456 Periodevis stigende, men stabilisert i siste år (2016)
VMB02	Mettet fluktuasjon ca. 2 m	Stabil Ca. 11 grader	5,62–6,75 Gj.sn: 6,3 Sesongvariasjoner	0,27–13,81 Gj.sn: 3,22 Sesongvariasjoner	(-554,33)–(268,98) Gj.sn: -302,08

Tabell 29: Sammenstilling av måledata fra Vågsbunnen MOV.

2.2.1.3.2 Avvik

Det første året var det store problemer med drift av brønn VMB02. Brønnen ble fylt med regnvann og slam fra gateplan, samt frost. Utstyret ble ødelagt og brønnen tatt ut av drift. Overvåking i VMB01 fikk forsinket oppstart på grunn av skade på utstyr. Utstyret i VMB02 ble ødelagt overflatevann og frostskafer og data fra denne brønn er ikke med i statusrapport II.

2.2.1.3.3 Resultater

VMB02: Første års overvåking i VMB02 viste fluktuerende grunnvannsnivå. Grunnvannet fluktuerte fra kote -1,6 til 0,7 moh. Redoksforholdene viste anoksiske forhold på -400mV, men også kort periode sommeren 2014 med oksiderende forhold på +268 mV. pH lå på mellom 6 og 7, mens ledningsevnen i grunnvannet steg i vinterhalvåret og var lav om sommeren. Dette kan forklares med at brønnen var påvirket av overflatevann, frost og veisalt (Se Tabell 29).

Overvåking av miljøbrønn VMB01 ble startet senere grunnet skade på utstyr, og har gitt data 1 års tid. I denne brønnen overvåkes grunnvann og dets ulike måleparameter fortsatt. I VMB01 lå grunnvannet i gjennomsnitt på 0.7moh. Redoksforholdene var sterkt varierende, fra -470mV til +338mV. pH og ledningsevne var først noe synkende, før det stabiliserte seg. I slutten av perioden sank redoksforholdene til -400mV. Temperaturer målt i grunnvannet fra begge brønner viser stabil temperatur ca. 11 grader (Bergersen 2015c).

Rapport etter 2 års miljøovervåking ved VMB01 i Skostredet later til å være siste rapport i dette prosjektet, det foreligger ikke en avsluttende rapport. I VMB01 var pH steget til et stabilt nøytralt område. Ledningsevnen var lav, og det var stabile reduserende forhold med redoksforhold på -440mV. Dette regnes som bra for bevaring av organisk materiale i nærliggende kulturlag (Bergersen 2016). VMB01 videreføres som punkt B1 i MABYMOV-prosjektet.

To miljøbrønner, overvåket 2012-2017. Utstyr i ene brønnen ble ødelagt etter ett år. I den andre ble det målt stabile reduserende redoksforhold. Til tross for at det ikke foreligger noen avsluttende rapport, har det allikevel vært mulig å konkludere for begge brønnene. VMB01 virker som den med de mest stabile bevaringsforhold, mens VMB02 var mer utsatt for fluktuasjoner tilknyttet årstidsvariasjoner i nedbør, antakelig fluktuasjoner i tidevann også, og den var utsatt for inntrengning av overflatevann, noe som til slutt ødela måleutstyret. VMB01 kan følges som overvåkingspunkt B1 i MABYMOV-prosjektet med ny instrumentering, se videre i avsnitt 2.2.1.4.

2.2.1.4 MABYMOV Vågsbunnen

MABYMOV for Vågsbunnen (prosjektnummer 1021141 MABYMOV) inkluderer Profil B2 og miljøbrønnene B1 og B3 (se Figur 3). Måleseriene er rapportert fra 2020–2021 (se Tabell 30). Det er 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.

B1 er fortsatte målinger i VMB01 fra 2012, se NIKU rapport 99. «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 2014c – kalt VMB01 i begge rapporter). Brønnen ble ikke instrumentert før i 2019 av COWI/Cautus. Det ble ikke utarbeidet en egen MABYMOV installasjonsrapport for B1, men analyseresultatene er gjort tilgjengelig i denne rapporten (Martens et al. 2020).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Martens, V. V., Hovd, L., Dunlop, A. R., Olsen, S. B., Henninge, L. B., Voellmecke, M.	2020	NIKU RAPPORT 99	NIKU rapport 99 statusrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1 pr. 31. mars 2020 Middelalderbyene Bergen og Tønsberg	Statusrapport, installasjonsrapport
Martens, V. V., Dunlop, A. R., Olsen, S. B., Henninge, L. B., Voellmecke, M., Engebretsen, J.	2021	NIKU RAPPORT 106	NIKU rapport 106 Statusrapport MABYMOV pr. 31. mars 2021, miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1. Middelalderbyene Bergen og Tønsberg	Statusrapport
Martens, V. V., Dunlop, A. R., Dinning, A. J., Henninge, L. B., Voellmecke, M.	2019	NIKU RAPPORT 96	NIKU rapport 96 oppstartsrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B3 Kong Oscars Gate og Nedre Hamburgersmauet, Vågsbunnen, Bergen	Statusrapport, Installasjonsrapport

Tabell 30: Rapporter fra MABYMOV Vågsbunnen.

2.2.1.4.1 Måledata

Brønn / Profil	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Lednings-evne mScm -1	Redoks mV	Oksygen %
B1	0,5 m fluktusjon, følger nedbørs- mønster	Årstidsvariasjon: 13–8	Stabilt 6–7, noe ustabilitet pga. regnvann	Høy og varierende 0–1200	-380 - >300mV, synkende, derne stabilisering, stabilisert rundt -380, innimellom topper på >0mV.	0–11 %, meget varierende
Profil B2		8–21 Variasjon, grunneste sensorer følger overflatevariasjon er. Mer stabilt ved dypeste sensor; 12–15 grader	Varierende; 0–6,6	Stabilisert ca. 25–30	Varierende, stabilisert rundt -350 mV.	46–65 %, størst variasjon i topp, stabilitet dypest ned.
B3	1,7 m fluktusjon	6–13				1–13 %

Tabell 31: Sammenstilling av måledata fra MABYMOV Vågsbunnen.

2.2.1.4.2 Avvik

En sprekke i lokket til B3 kan ha ført til ustabile data. Lokket ble erstattet 31. januar 2019. Sensor 3384 viser sannsynligvis økt vanninntrengning i kulturlaget, forårsaket av sprekker i leirdekket. Det var i

tillegg problemer med oksygensensorene i B2, der først den øverste måtte byttes ut (kunne utføres før gjenlegging av sjakt), og siden kom det feilmålinger fra den nederste installerte oksygensensoren. Ettersom sjakten da var lagt igjen, måles derfor kun oksygen i en sensor i profil B2.

2.2.1.4.3 Resultater

Overvåkingspunktene B1 og B3 har litt ustabile bevaringsforhold, mens overvåkingspunktet B2 stort sett er stabilt og uendret siden utgravingstidspunktet (se Tabell 31).

Miljøprofil B2 ligger i krysset mellom Kong Oscars gate 18 og Øvre Korskirkeallmenningen 1. Profilen ble avdekket ved de arkeologiske undersøkelsene knyttet til bossnett-prosjektet (prosjektnummer 1020794 Øvre Korskirkeallmenningen). Profilen er tilstandsvurdert av arkeolog og det er tatt ut jordkjemiske prøver. Sensorer ble installert i juli 2018. I profil B2 er bevaringstilstanden svært varierende. De øvre lagene ligger i umettet sone, mens de nederste ligger i fluktusjonssonen.

Miljøbrønn B3 ble etablert etter naverboring i 2018. I B3 er bevaring i mettet sone tilfredsstillende. Grunnvannsnivå ved B3 var ikke ferdig kartlagt ved rapportering. Det foreligger ikke vurderinger av bevaringstilstand i kulturlagene fra tidligere, så det kan ikke trekkes slutninger om utvikling over tid ennå.

I NIKU rapport 99 gjennomgås status for B1 og B3 fram til mars 2020. B1 er videreført med ny multisensor fra 2019 i miljøbrønnen VMB01 fra 2013 (Martens et al. 2020).

Oksygenkonsentrasjonen i B1 har vært meget varierende i hele måleperioden, fra 0 til 11 %. Målingene viser lange perioder med ikke-målbare mengder oksygen, noe som stemmer godt med reduserende forhold i grunnen. Denne ustabiliteten kan skyldes inntrenging av regnvann i nedbørsperioder. Vannstanden har variert mellom 0,2–1,3 m fra topp, og har stort sett fulgt nedbørsmønsteret. Dette tyder på mye transport av vann under nedbørsperioder selv om området er asfaltert. Temperaturen i brønnen viser godt samsvar med årstiden og temperaturen målt for værstasjonen i Bergen sentrum. Temperaturen har variert mellom ca. 8–13 °C. 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 oksygennivået i vannet. pH ligger relativt stabilt mellom 6 og 7 og de små variasjonene sammenfaller med variasjoner i ledningsevnen. Ledningsevnen har vært i området 0–1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ frem til begynnelsen av 2021. Deretter har nivåene økt opp mot 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dette kan tyde på en økning i oppløsning av uorganisk materiale og dermed noe forverring i bevaringsforholdene for uorganisk materiale. Måledata viser ustabile forhold i B1, med inntrenging av overflatevann i nedbørsperioder, og meget varierende oksygenkonsentrasjon og redoksverdier. Sammenlignet med resultatene fra jordprøver tatt i 2012, viser sensordata at bevaringsforholdene er noe forverret for B1. Dette kan skyldes en dyp grøft i gaten (Martens et al. 2019, 2020, 2021).

Måledata og jordkjemiprøver tyder på at B2 har stabile forhold. De fleste redoks-målinger viser gode negative verdier som indikerer bra bevaringsforhold for kulturlagene. Redoks-verdiene har vært varierende, men etter sensommeren 2019 har alle sensorene stabilisert seg på reduktive forhold på rundt -350 mV. 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. Verdiene følger sesongvariasjonene. I miljøprofil B2 varierte temperaturen mellom ca. 5–21 °C. Sensorene i de øvre lagene viste størst årstidsvariasjon. Vanninnholdet varierte fra 46-65 %. De to nederste sensorene viste relativ stabilitet, mens de to øvre sensorene i større grad fluktuerte etter nedbørsmønsteret. pH var noe ustabil ved oppstart i 2018, men har stabilisert seg og ligger nå på 6–7. Ledningsevnen har stabilisert seg rundt 25-30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ledningsevnen er sunket og stabilisert i forhold til i jordprøvene fra 2018. De nederste sensorene viser laveste verdier. I februar 2021 var det en svak økning til 40 og 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Bevaringsforholdene stort sett er stabile og uendret i forhold til utgravingstidspunktet (Martens et al. 2019, 2020, 2021).

Måleverdiene fra miljøbrønn B3 har vist veldig varierende verdier. Det var opprinnelig mistenkt at dette hovedsakelig skyldtes en sprekk 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. Miljøbrønn B3 varierer i temperatur mellom 6°C og 16°C, og følger sesongvariasjoner. Vannstanden fluktuerer mellom 0,3 og 3 m fra toppen, og fulgte nedbørsmønsteret. I juni 2020 økte vannstanden fra 1,0–1,5 moh. til 1,5–3,0 moh. Oksygenkonsentrasjonen var sterkt varierende, fra 0 til 100 %. Tilsvarende varierte redokspotensialet sterkt, med mest oksiderende forhold. Den store variasjonen i både oksygen- og redoks-målinger viser at det er ingen stabilitet i vannet. pH-målingene var synkende, fra ca. 7,4 til 5,6. Ledningsevnen varierte sterkt, mellom 10 til 600 µS/cm. Ved mars 2021 lå nivået stabilt på ca. 300 µS/cm. pH-målingene viser også en synkende tendens fra ca. 7,4 til 5,5 før sommeren 2020, for så å stige til 6,6 og stabilisere seg der fram til mars 2021. Dette kan bety en forsuring av miljøet pga. sulfat som omdannes til sulfid under reduktive forhold eventuell annen utløsning av materiale fra geologien i området. Jordprøvene fra 2018 viste god bevaring for organisk materiale. De ustabile målingene viser derimot inntrenging av oksygen og at bevaringsforholdene ikke er optimale.

MABYMOV prosjektet har overvåket tre punkter i Vågsbunnen i Bergen: to brønner, B1 og B3, samt installasjon av sonder i profil, overvåkingpunkt B2. Begge miljøbrønnene viser ustabile bevaringsforhold, mens profilmålingene viser at tildekkingen med leire etter installasjon av sonder har bidratt til forbedring av forholdene sammenlignet med jordprøvene tatt i forkant av installasjonen. Ettersom kulturlagene her ligger dels i umettet sone, dels i fluktuerende sonen og periodevis er dekket av grunnvann, vil man normalt anse dem som mere sårbare enn kulturlagene i tilknytning til brønnene, som er i mettet sone. Det er derfor interessant at det er målingene her som viser størst stabilitet. Man kunne derfor ønske seg installasjon av sonder i profil også i mettet sone for å bedre sammenligningsgrunnlaget. Prosjektet løper fortsatt og skal levere 5års rapport i 2022.

2.2.1.5 Sammenstilling av bevaringstilstand til organiske kulturlag i grunnboringer i Vågsbunnen

I 2015 utarbeidet NIKU en sammenstilling av bevaringstilstanden til organiske kulturlag i grunnboringer i Vågsbunnen-området per 2012 (Dunlop 2015c). På slutten inneholdt den en sammenligning av den generelle bevaringstilstanden til henholdsvis etterreformatoriske/nyere kulturlag og middelalderiske kulturlag. Det kunne konkluderes med at den store nedbrytningstrusselen er mot de nyere tids og etterreformatoriske organisk-rike kulturlagene, som da beskytter de middelalderiske kulturlagene til stor grad. Kontroll med grunnvannstanden ble fremhevet som nøkkelen fremover.

Dette ser vi som en særdeles viktig rapport og konklusjon, som i øvrig har overføringsverdi til samtlige middelalderbyer. Om man mister kulturlag fra renessanse og nyere tid, mister middelalderlagene sin beskyttelse og er umiddelbart sterkere truet av nedbrytning.

2.2.2 Bryggen

På Bryggen i Bergen (se Figur 3, se kapittel 2.2.2.6 for fullstendig liste over brønner) ble det startet opp et miljøovervåkingsprosjekt (prosjektnummer 1561329, undernumre 01-44) i 2002. De fleste måledataene og resultatene er gjort rede for i «Monitoring, Mitigation, Management. The Groundwater Project – Safeguarding the World Heritage Site of Bryggen in Bergen» (Rytter & Schonhowd 2015). De arkeologiske rapportene som gjelder naverboringer og andre gravetiltak knyttet til Grunnvannsprosjektet på Bryggen er publisert i rapportserien The Bryggen Monitoring Project. Dette er NIKU oppdragsrapporter, hovedsakelig forfattet av Dunlop. Kjemiske analysedata fra prøvetaking er ikke inkludert i disse rapportene, men foreligger i separate rapporter fra RAs underleverandører.

Miljøbrønnene på Bryggen ble først og fremst etablert for å overvåke grunnvannstanden. Det er derfor et mindre antall av brønnene som er utstyrt med multisensorsonder som måler flere parametere. I stedet har det vært tatt ut vannprøver for kjemisk analyse ved utvalgte punkter med en viss regelmessighet. Miljøovervåkingsprosjektene på Bryggen har pågått i perioden 2001–2021. Mellom

2001 og 2021 har det blitt installert 49 miljøbrønner, én multಿನivåbrønn, tre dype fjellbrønner, samt noen andre observasjonspunkter, for overvåking i mettet sone. I tillegg har det vært etablert miljøprofil for overvåking i både mettet sone og i fluktuasjonszone. 20 år med miljøovervåking har gitt et for Norge enestående grunnlag for å diskutere utviklingen av bevaringsforholdene over tid. Det foreligger data for korte perioder, med variasjoner over dager og uker, utløst av for eksempel nedbør og tidevann. Datasettene kan også vise variasjoner over middels lange perioder, som sesongmessige svingninger. I tillegg kan dataene sees over lange perioder, og vise permanente endringer som strekker seg over flere år (Matthiesen 2012). Kulturlagsovervåking i miljøbrønner i Bryggen i Bergen har akkumulert store datasett. Resultatene fra Grunnvannsprosjektet fram til 2016 er i stor grad rapportert i Rytter & Schonhowd 2015 og Matthiesen 2016.

2.2.2.1 *Forskning og metodeutvikling*

20 år med miljøovervåking har bidratt til en god del forskning og metodeutvikling knyttet til miljøovervåkingen på Bryggen (f.eks. Gregory & Matthiesen 2006; Walpersdorf, Matthiesen & Vorenhout 2012; Hollesen & Matthiesen 2011, 2012, Matthiesen 2005c; 2006a; 2007b), og det har vært prøvd ut flere typer utstyr, etter hvert som nytt utstyr har blitt praktisk og økonomisk tilgjengelig. I perioden 2003–2005 ble en automatisk oksygenlogger flyttet mellom MB1, MB2, MB3, MB5, MB6 og MB7 (Matthiesen 2005a). Det ble da påvist daglige, nedbøravhengige variasjoner i oksygen og temperatur i MB3 og MB5. I perioden 2006–2011 ble det installert automatiske loggere i flere brønner (Matthiesen 2012).

I 2012 ble det satt opp en sammenligning av oksygenkonsentrasjoner og redokspotensialmålinger i kulturlagene i bakre del av Nordre Bredsgården. Dette var del av en evaluering av ulike systemer for overvåking i umettede urbane kulturlag. Resultatene viste at redokssensorer kan installeres fra markoverflaten, uten forutgående utgravning, men da vil det også være vanskelig å si med sikkerhet hvilke kulturlag sensorene overvåker. Å beskrive kulturlagene og ta ut prøver fra dem er viktig for å få gode resultater i overvåkingsprosessen. Inngrepet som oppstår ved å bore eller presse et hull for å sette inn sensoren vil også øke risikoen for inntrenging av overflatevann. Oksygensensorer var per 2012 for skjøre til å monteres fra overflaten. Direkte sammenligning av målinger av oksygenkonsentrasjon og redokspotensiale i sammenlignbare jordlag, viste at med oksygen til stede ligger redokspotensialet mellom 600 and 800 mV. Når det ikke er oksygen til stede, ligger redokspotensialet rundt -200 til 800 mV. Det er derfor ikke mulig å avgjøre om det er oksygen til stede kun ved bruk av redokssensor. Høyt redokspotensiale kan nemlig også forekomme ved anoksiske forhold. I testgropen ved Bredsgården ble det i 2010 satt inn oksygensensorer (Matthiesen & Hollesen 2012), og redokssensorer ble installert i 2011 (Vorenhout 2011). Resultatene viste at de to overvåkingsmetodene bør være supplerende i forhold til hverandre (Walpersdorf, Matthiesen & Vorenhout 2012).

I 2012 ble resultater med vanninfiltrasjon i kulturlag evaluert, med fokus på foreløpige resultater fra Bryggen (Hollesen og Matthiesen 2012). Resultatene fra Grunnvannsprosjektet på Bryggen bekreftet at økt vanninnhold i jordlagene bedrer bevaringsforholdene, ettersom oksygenkonsentrasjonen i jorda er lavere i vannmettet jord. Ulike typer vann ble evaluert i forhold til hvordan oksiderende stoffer for oppløst i vannet reagerer. Observasjoner fra Bryggen har vist at oksygen oppløst i regnvann i stor grad blir redusert før den når ned til kulturlagene. Det har også vært fokusert på hvordan sulfatrikt sjøvann påvirker nedbrytningsgraden (Hollesen og Matthiesen 2012). Effekten av jordtemperatur på nedbrytningshastighet ble undersøkt i 2011. Resultatene viste at temperatur er viktig for nedbrytningshastighet, og at 10°C temperaturøkning kan øke nedbrytningsgraden med 100–180%. Materiale fra mettet sone er 10 ganger mer reaktivt enn materiale som har vært utsatt for oksiderende forhold over lengre tid (Hollesen & Matthiesen 2011).

I 2005 ble virkningen av peling og spunting i kulturlag diskutert (Matthiesen 2005). Forholdene rundt spuntveggen rundt Bryggen hotell ble diskutert, i forbindelse med at det ble gjort en prøvegraving med

oppmåling og prøvetaking. Fokus var på fysiske skader, endre vannstrømningsmønstre og oksyngjennomtrenging, endringer i pH og forflytning av nedbrutte stoffer. Det ble påvist at spuntveggen i seg selv ikke hadde så stor effekt på omkringliggende lag, men at det å holde spuntten tett og hindre vanngjennomstrømming var en stor utfordring. Endrede vannstrømningsmønstre og drenering av områder tilgrensende spuntveggen var en stor utfordring i Grunnvannsprosjektet på Bryggen (Matthiesen 2005c).

2.2.2.2 Grunnvannsprosjektet: En vellykket redningsoperasjon

I 2015 ble det klarlagt at infiltrasjonsprosjektet har forbedret forholdene i mettet sone i de mest kritiske områdene, og grunnvannskomposisjonen har blitt mer homogen over hele Bryggen (Matthiesen 2014b; 2016; Rytter & Schonhowd 2015). Generelt har bevaringsforholdene blitt forbedret og grunnvannssammensetningen har blitt mer homogen over hele Bryggen. Kun området ved kaifronten har sterkt avvikende grunnvannsforhold, på grunn av høyt sjøvannsinhold.

I 2011 ble det lagt fram en ny overvåkingsplan for kulturlagene på Bryggen, i samarbeid med NGU, Multiconsult og Nationalmuseet. Problemer med økt nedbrytning som følge av senket grunnvannsstand og økt oksygeninnhold i grunnen førte over tid til økende setninger i grunnen og i den fredete trehusbebyggelsen. Ved å etablere et overvåkingsystem i kulturlagene under Bryggen ønsket man å få oversikt både over nåværende situasjon og en mulighet for å dokumentere effekten av framtidige tiltak. Det overgripende målet var å hindre nedbrytning av organiske kulturlag ved å etablere et høyt grunnvannsnivå, med mest mulig stillestående, oksygenfritt vann. Målet var å få stoppet setninger og nedbrytning av kulturlag og fundamenter, gjennom å bedre bevaringsforholdene over hele området Bryggen til nivå 5 (utmerket) eller 4 (god). Virkemidler for å nå målene var tetting av spuntveggen rundt hotellet, og økt lokal overvannshåndtering og kunstig infiltrasjon av regnvann på Bryggen. Miljøovervåkingen på Bryggen inkluderte grunnvannstand og poretrykk i mettet sone, og jordfuktighet i umettet sone, vannkjemi, oksygen og temperatur i mettet og umettet sone, og setningsmålinger i terreng og bygninger. Det ble utviklet hydrogeologiske modelleringer for å kartlegge strømningshastigheter for grunnvannet. Et av målene for infiltrasjonsprosjektet var å redusere strømningshastigheten og få mest mulig stillestående grunnvann, spesielt langs spuntveggen og ved havnefronten. I tillegg var det ønskelig å redusere grunnvannstemperaturen rundt spuntveggen og under Bryggen til cirka 9°C (median), med minst mulig variasjon (de Beer & Matthiesen 2011).

2.2.2.3 Mettet sone

Jevnlige uttak av vannkjemiprøver er en av grunnpilarene i miljøovervåkingsprogrammet på Bryggen i Bergen. Prøveuttak er gjort av Multiconsult og NGU, og analysert av Nasjonalhistorisk museum (Matthiesen 2012). Den siste store prøveuttaksrunden var i 2015, noe som gav 14 år med jevnlig prøveuttak i området. I tillegg har flere brønner automatiske loggere, og rapporteres fortsatt inn i Bryggen MOV. De første vannkemiprøvene ble tatt ut i 2002, da ble det tatt prøver av de første 4 miljøbrønnene. Den første fulle runden med prøveuttak var i 2005, da ble det tatt ut prøver fra 14 brønner (Matthiesen 2006). Rapporten fra 2006 presenterte en modell for vannets bevegelser og hvordan grunnvannskjemi reflekterer bevaringsforhold (Matthiesen 2006a; 2008b). I april 2007 ble det tatt prøver av et utvalg på 9 miljøbrønner (de Beer & Matthiesen 2008). I 2008 var den andre runden med fullt prøveuttak (de Beer & Matthiesen 2008; Matthiesen 2008c), fra 28 miljøbrønner. Resultatene ble brukt til å sette opp en modell for nedbrytningsmønsteret i kulturlagene (Matthiesen 2009). Resultatene bekreftet også tidligere modeller; jo dypere vanninntak, jo mer stillestående vann, som er mindre utblandet med regnvann (Matthiesen 2008b). I 2011 ble den tredje runden med fullt prøveuttak tatt ut, dette inkluderte 40 vannkemiprøver fra miljøbrønner og piezometerbrønner. Rapporten fra 2011 fokuserte på å evaluere tidligere modelleringer for nedbrytningshastighet og forståelse av grunnvannskjemiske prosesser (Matthiesen 2012). Observasjonene bekreftet de foreslåtte modellene for grunnvannskjemi

og grunnvannsbevegelser (de Beer & Matthiesen 2008). Med data fra 10 års miljøovervåkning var det da også mulig å se på om bevaringsforholdene var stabile eller i endring over tid.

Rapporteringene av de store vannkjemiprøve-kampanjene var strukturert ut fra romlig og temporær variasjon i grunnvannets sammensetning, og hvordan dette påvirker bevaringsforholdene. Ved den siste store prøveuttaksrunden i 2015 ble det tatt ut 36 prøver (Matthiesen 2016). Et hovedfokus i denne undersøkelsen var på eventuelle resultater av infiltrasjonsprosjektets tiltak i perioden 2011-2014, ved å se på om grunnvannets sammensetning var endret noen steder på Bryggen. De jevnligte prøveuttakene gav grunnlag både for å diskutere bevaringsforholdenes utvikling, resultater av tiltak og videre behov, og å gjennomgå og utvikle nye metoder, eksempelvis for prøveuttak og behandling av prøver.

I 2015 var det flere av brønnene som ikke kunne tas prøver fra: MB3 var fjernet, MB10 og MB18 var utilgjengelige, MB30 og MB31 var tørre, MB33 og MB36 var utilgjengelige, MB37 hadde regnvann som rant ned i brønnen, og MB42 og MB43 var utilgjengelige. I tillegg ble det ikke tatt prøver fra FB1 og FJB3.

På sentrale områder av Bryggen er det sammenheng mellom dybde og vannkjemi i kulturlagene. Vannstrømmen går fra kulturlagene og ned, slik at kulturlagene i liten grad påvirkes av vannkjemi i grunnvannet som kommer fra naturlige lag under. De naturlige avsetningene er representert i de dype brønnene MB17, MB23, MB25 og FB1, samt i MB22 og MB31. Vannet i disse brønnene hadde sammensetninger lignende de overliggende lagenes grunnvann, men var mer utblandet. Dette forklares ved at vannstrømmen går ovenfra og ned, fra kulturlagene ned mot undergrunnen (de Beer 2008). Dette betyr at det naturlige grunnvannet i liten grad påvirker de arkeologiske kulturlagenes bevaringsforhold. Endringer i grunnvannsbalansen på Bryggen kan bidra til å endre dette mønstret (Matthiesen 2012; 2016). De fleste brønnene viser lav variasjon i vannsammensetning over tid, noe som tyder på stabile forhold. Enkelte brønner, som MB5 og MB11, har vist stor variasjon i vannkjemi, og noe variasjon er også observert i MB6, MB7, MB9, MB13, MB15, MB16, MB22, MB25, MB26, MB27, MB33 and FB1 (Matthiesen 2012).

Nedenfor gjengis grunnvannsprøver fra 2015 (Matthiesen 2016) og 2011 (Matthiesen 2012). For oversikter over eldre prøveresultater se også Matthiesen (2006a; 2008b).

	MB35	MB38	MB39	MB40	MB41 (?)	MB44	MB48	MB49	
x	297609.4	297516.3	297514.9	297441.4	297502.1	297586.1	297595.4	297588.9	
y	6701153.9	6701314.8	6701351.3	6701423.5	6701366.1	6701231.6	6701160.8	6701155.7	
Distance to harbour (m)	55	91	119	120	120	77	48	39	
Monitoring well top (m asl)	1.93	2.26	2.97	3.87	3.39	6.7	1.1	1.05	
Filter top (m asl)	0.03	-2.60	0.00	0.00	1.50	1.25	-1.90	-1.60	
Filter bottom (m asl)	-0.97	-3.60	-1.00	-2.00	0.50	0.25	-2.90	-2.60	
Natural deposit (m asl)	-1.95					0.20	-2.85		
Rock (m asl)									
Sampling date	26-11-15	02-12-15	19-11-15	18-11-15	19-11-15	25-11-15	26-11-15	26-11-15	
Water level (m asl)	0.82	1.24	2.30	0.79	2.62	0.96	0.42	0.41	
Parameter	weight	Unit: mmol/L							
Na ⁺	22.99	4.78	11.74	1.39	1.57	14.79	2.96	9.57	5.65
K ⁺	39.10	0.13	0.61	0.17	0.18	0.59	0.12	0.38	0.43
Ca ⁺⁺	40.08	1.27	2.12	1.65	1.17	1.47	1.37	3.74	4.24
Mg ⁺⁺	24.31	0.15	0.91	0.28	0.10	0.74	0.10	0.45	0.29
Mn ⁺⁺	54.94	0.003	0.004	0.005	0.002	0.011	0.002	0.006	0.003
Fe ⁺⁺	55.85	0.02	0.01	0.00	0.06	0.17	0.00	0.05	0.01
NH ₄ ⁺	18.04	0.20	2.11	0.33	0.00	1.55	0.01	1.22	1.11
Cl ⁻	35.45	3.67	9.87	1.38	1.41	9.31	2.14	11.56	5.64
SO ₄ ⁻⁻	96.06	0.03	0.04	0.07	0.15	0.04	0.39	0.04	0.09
NO ₃ ⁻	62.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.00	0.00
P-tot	30.97	0.07	0.81	0.18	0.00	0.71	0.01	0.13	0.05
HS ⁻	32.06	0.01	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03
HCO ₃ ⁻	61.02	2.26	10.95	3.90	2.41	12.06	3.39	7.77	11.69
O ₂	31.9988								
CH ₄	16.042	0.000	0.002	0.000	0.004	0.002	0.005	0.000	0.000
pH		6.5	6.4	6.4	6.9	6.4	7.0	6.7	6.8
Conductivity (mS/m)		65	210	55	43	220	62	210	160
Dry weight (mg/L)		340	2000	330	240	2200	360	1200	910
Temperature (°C)		11.4		10.5	13.9	10.1	12.1	16.5	14.0
Comments from laboratory		Sulphide increased uncertainty				Samples unmarked (no well-number)	Sulphide increased uncertainty	Sulphide increased uncertainty	Sulphide increased uncertainty
Sum cations (meq/L)		8.00	20.55	5.75	4.42	21.71	6.03	19.67	16.28
Sum anions (meq/L)		6.07	21.73	5.65	4.12	22.18	6.37	19.57	17.60
Diff cat-an (meq/L)		1.93	-1.18	0.11	0.29	-0.47	-0.34	0.10	-1.32
Relativ diff (%)		14%	-3%	1%	3%	-1%	-3%	0%	-4%

Tabell 32: Grunnvannsprøver fra brønner på Bryggen 2015 (Matthiesen 2016).

	MB1	MB2	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15
x	297519.751	297507.633	297454.210	297454.986	297491.299	297499.567	297500.197	297489.592	297505.547	297606.297	297481.388	297477.469	297534.297	297476.607
y	6701336.513	6701331.949	6701333.198	6701334.655	6701318.164	6701377.659	6701378.333	6701272.658	6701277.855	6701364.945	6701258.540	6701355.873	6701295.773	6701355.22
Distance to harbour (m)	111	100	62	63	79	126	127	46	60	193	30	95	94	95
Dipwell top (m asl)	2.78	2.18	1.62	1.67	1.62	4.21	4.26	1.65	1.42	16.91	1.12	1.94	2.28	1.91
Filter top (m asl)	1.90	-1.80	-4.88	-0.30	-2.38	0.46	2.26	0.65	-3.58	14.81	-3.45	-0.95	-0.74	-5.09
Filter bottom (m asl)	-1.10	-4.80	-6.88	-2.30	-5.38	-1.54	0.26	-1.35	-6.58	9.81	-8.45	-5.95	-2.74	-6.09
Natural deposit (m asl)	-1.00			-9.35	-6.60	-1.80			-6.38	11.00	-8.28	-6.10	-4.09	
Rock (m asl)			-8.75	-2.50			-10.28	9.40						
Sampling date	06-09-2011	06-09-2011	06-09-2011	06-09-2011	06-09-2011	02-09-2011	02-09-2011	29-08-2011	29-08-2011	06-09-2011	31-08-2011	02-09-2011	06-09-2011	02-09-2011
Water level (m asl)	2.29	1.33	0.59	0.62	1.18	1.29	2.03	0.40	0.57	12.35	0.48	0.65	1.70	0.63
Parameter	weight	Unit: mmol/L												
Na ⁺	22.99	5.65	14.79	6.96	0.87	23.49	3.09	4.78	28.71	65.25	0.65	20.44	0.31	3.09
K ⁺	39.10	0.26	0.56	0.26	0.15	0.66	0.16	0.26	0.79	1.87	0.05	0.97	0.04	0.31
Ca ⁺⁺	40.08	1.22	2.74	1.62	1.17	1.55	2.00	6.24	0.95	6.49	0.85	6.49	0.50	5.24
Mg ⁺⁺	24.31	0.34	0.82	0.39	0.32	0.66	0.30	0.62	1.93	1.56	0.09	2.63	0.04	0.82
Mn ⁺⁺	54.94	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Fe ⁺⁺	55.85	1.02	0.06	0.20	0.66	0.07	0.06	3.22	0.13	0.06	0.06	0.02	0.06	0.45
NH ₄ ⁺	18.04	0.78	2.49	0.61	0.02	2.38	0.19	0.09	0.43	7.21	0.00	6.10	0.25	0.89
Cl ⁻	35.45	5.92	12.13	5.08	0.68	19.46	3.95	3.38	42.31	67.70	0.85	22.85	0.99	3.95
SO ₄ ⁻⁻	96.06	0.05	0.07	0.08	0.21	0.12	0.01	0.14	0.88	0.01	0.10	0.22	0.07	0.04
NO ₃ ⁻	62.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.02	0.00
P-tot	30.97	0.29	0.52	0.15	0.00	0.58	0.18	0.30	0.05	0.42	0.02	0.17	0.02	0.27
HS ⁻	32.06	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
HCO ₃ ⁻	61.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O ₂	31.9988							0.11			0.14		0.17	
CH ₄	16.042	0.00	0.17	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	0.01	0.00	0.01
pH		6.5	6.2	6.1	6.4	6.1	6.6	6.5	6.5	6.5	6.8	6.5	6.3	6.3
Conductivity (mS/m)		620	1400	640	170	1800	580	710	2700	5100	140	2500	190	860
Dry weight (mg/L)		620	1400	640	170	1800	580	710	2700	5100	140	2500	190	860
Colour														
Temperature (°C)														
Comments from laboratory		Precipitate in sample for metals	Precipitate in sample for metals	Precipitate in sample for metals	Precipitate in sample for metals	Precipitate in sample for metals	Sulfide sample not filled	Sulfide sample not filled	Precipitate in sample for metals	Precipitate in sample for metals	Precipitate in sample for metals	Precipitate in sample for metals	Sulfide sample not filled	Precipitate in sample for metals
Sum cations (meq/L)		11.92	25.11	12.27	5.37	31.10	8.19	25.46	35.96	90.57	2.71	45.80	1.81	17.34
Sum anions (meq/L)		12.80	24.65	10.84	2.22	29.90	8.50	13.08	48.82	93.05	2.32	48.54	3.51	12.09
Diff cat-an		-0.88	0.46	1.42	3.15	1.20	-0.32	12.38	-12.87	-2.48	0.38	-2.74	-1.70	5.25
Relativ diff (%)		-4%	1%	6%	41%	2%	-2%	32%	-15%	-1%	8%	-3%	-32%	18%

2.2.2.4 Grunnvannssoner på Bryggen; A-D + E

I Grunnvannsprosjektet har Bryggen blitt delt i 4 soner, utfra grunnvannssammensetting, bevaringsforhold og hvilke prosesser som preger kulturlagene i området. A som påvirkes av senket grunnvannsnivå, B som påvirkes av økt gjennomstrømming langs spuntveggen, C som påvirkes av sjøvann og D som påvirkes av stillestående anoksisk vann. I tillegg ble det inkludert et område E, på sørøstlige Bryggen, i 2015 (de Beer & Matthiesen 2008; Matthiesen 2008b; Matthiesen 2008c, Matthiesen 2012, Matthiesen 2015).

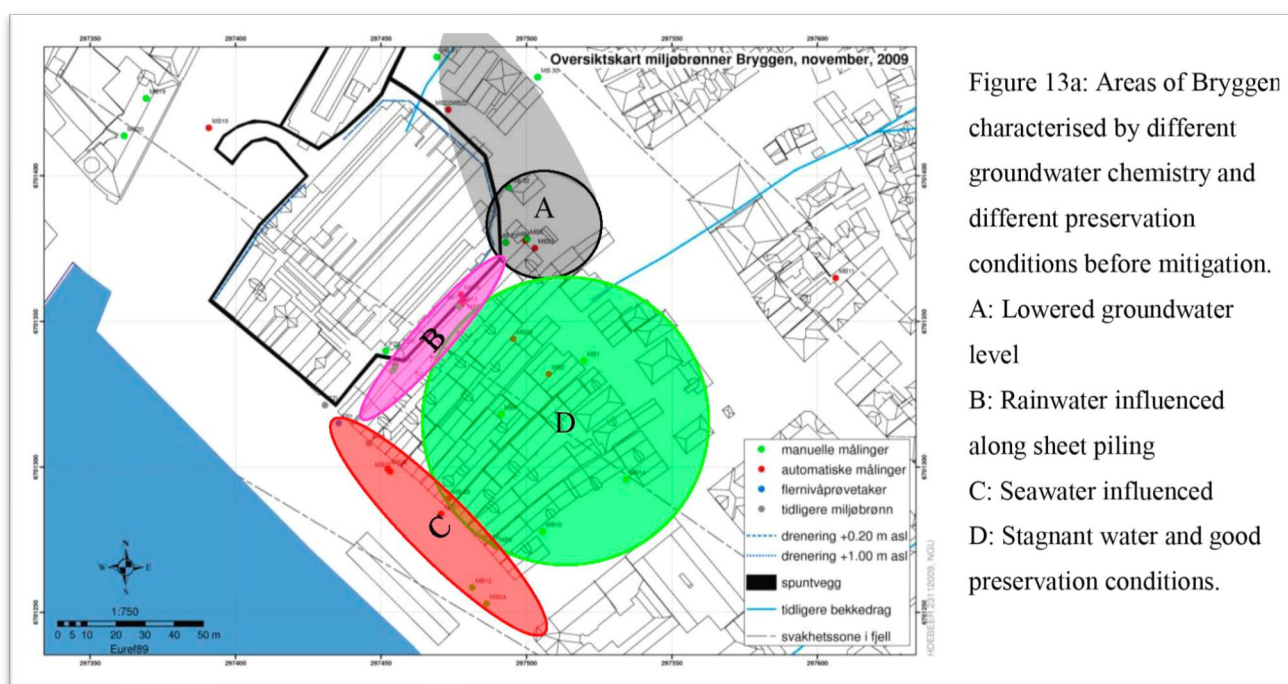


Figure 13a: Areas of Bryggen characterised by different groundwater chemistry and different preservation conditions before mitigation. A: Lowered groundwater level
B: Rainwater influenced along sheet piling
C: Seawater influenced
D: Stagnant water and good preservation conditions.

Figur 4: Romlig fordeling av de fire grunnvannssonene A-D. Område E ligger lenger sørøst, ved Det Hanseatiske Museum (Figur hentet fra Matthiesen 2016).

2.2.2.4.1 Område A: Drenerte områder på baksiden av Bryggen

I områdene bak Bryggen, ble det påvist et senket grunnvannsnivå ved prosjektets oppstart. Miljøovervåkingen i dette området har hovedsakelig vært fokusert på de øvre lagene i umettet sone. Disse lagene var preget av elendige bevaringsforhold, og resultatene av infiltrasjonsarbeidene for disse lagene har vært en prioritet (Matthiesen et al. 2016). Grunnvannet under det tørrlagte området påvirkes av nedbrytningsprosesser i umettet sone, særlig økning i oppløst jern, magnesium og sulfat (Matthiesen 2012; Hollesen & Matthiesen 2012). I 2011 ble det kartlagt at det i umettet sone var svært dynamiske forhold, særlig knyttet til tilførsel av oksygenrikt nedbørsvann. Redoksnivåene i det drenerte området så ut til å påvirkes direkte av nedbør ned til 1 m under grunnvannsnivå (Matthiesen 2012). Drenering har gjort at reaktive stoffer samles opp i umettet sone, hvor de bryter ned materiale, og oppløselige stoffer fra disse prosessene transporteres ned i mettede sone hvor de går over i grunnvannet. Sulfat som produseres ved oksidering av ulike sulfurforbindelser i umettet sone er eksempel på et stoff som transporteres nedover i lagene av infiltrasjonsvann. I de mettede lagene under område A er vannprøvene kjennetegnet av høye konsentrasjoner av oppløst jern og sulfat (Matthiesen & Hollesen 2012, Mathiesen 2014). I 2011 ble det antatt at det ville ta tid å stabilisere dette området selv om grunnvannsnivået ble hevet. I 2015 ble det derimot påvist at grunnvannsnivået var hevet, og at det ikke lenger var større konsentrasjoner av oppløst jern og sulfat, og at bevaringsforholdene var forbedret. Noen av miljøbrønnene i området viste fortsatt forhøyet nitratnivå, noe som tyder på noe oksiderende forhold. Prøveserien i 2015 indikerte at vannkjemien i område A ikke lenger var klart ulik grunnvannet i område D. Til område A hører MB21, MB22, MB30 (tørr),

MB31, MB32, MB40, MB41 og delvis MB7, MB8, MB21 and MB33. De siste er så nær spuntveggen at de kan også tilhøre område B.

2.2.2.4.2 Område B: Områder med rask vanngjennomstrømming rundt spuntveggen

Ved spuntveggen ble det i 2008–2009 påvist at vertikal og horisontal vanngjennomstrømming var betraktelig raskere enn i sentrale områder på Bryggen (Matthiesen 2010a). I 2011 var det svært dynamiske forhold ved MB5 og MB11, med hyppig nedtrenging av oksygenrikt vann, og veksling mellom oksiderende og anoksiske forhold (Matthiesen 2005a; 2011) Også ved MB4, MB7, MB15, MB22, MB32, MB33, FB1, MB13 og MB16 var grunnvannet ispedd regnvann. Regnvannet inneholder små mengder oppløst oksygen og NO₃⁻, som kan nedbryte organisk materiale, så forholdene er ikke gunstige for bevaring (Matthiesen 2010a, Matthiesen 2012). Bevaringsforholdene i området ble beskrevet som dårlige til medium. I 2015 tydet resultatene på at vanngjennomstrømmingen langs spuntveggen var sterkt redusert, med dertil hørende forbedrede bevaringsforhold. Grunnvannet i noen av de dypere brønnene avvek fortsatt fra grunnvannet i de stillestående områdene, men det antas at det vil ta tid å endre bevaringsforholdene i de dypere liggende lagene (Matthiesen 2016).

2.2.2.4.3 Område C: Sjøvannsinntrenging ved kaifronten

I kaifronten ble bevaringsforholdene betraktelig forbedret underveis i Grunnvannsprosjektet. Renovasjon av VA-systemene resulterte i mindre inntrenging av flomvann fra sjøen. De øvre, porøse lagene (MB9, MB24) påvirkes fremdeles av sjøvannsinntrenging, og grunnvannssammensetningen er tydelig annerledes enn på resten av Bryggen. Bevaringsforholdene ble estimert til å være dårlig til medium (Matthiesen 2010b). I sjøvann er det mye sulfat, som kan bidra til nedbryting av organisk materiale gjennom sulfatreduksjon. Det er mye tilgjengelig sulfat i de øvre lagene. I de dypere liggende lagene tilføres sjøvann tregere gjennom diffusjon fordi lagene er så kompakte lag (MB26, MB27, MB28 og MB29). Sulfatreduksjonen er begrenset, og her er forholdene medium til gode (Matthiesen 2010b). I 2011 var det overraskende lite sjøvann i MB9, mens det var høye saltkonsentrasjoner og spor av noe sjøvannspåvirkning i MB25 og MB10. Multinivåbrønnen FB1 viste så lave saltnivåer at den ble flyttet ut av gruppe for sjøvannspåvirkede brønner (Matthiesen 2012). Vannet i de sjøvannspåvirkede brønnene kjennetegnes ved høyt saltinnhold, med ioner som også finnes i høye konsentrasjoner i sjøvann (Na⁺, Cl⁻, Mg²⁺, K⁺ og SO₄²⁻). I noen av brønnene varierer konsentrasjonene mye over tid på grunn av sjøvannet, og konsentrasjoner av sulfat kan variere på grunn av sulfatreduksjon (Matthiesen 2008a, Matthiesen 2010b).

Etter prøveanalysene i 2015 så det ut til at de lave saltnivåene i MB9 var midlertidige, da dette var steget til tidligere nivå igjen. Sulfatkonsentrasjonene i MB9 og MB24 er de høyeste målt på Bryggen (10 mmol/L) (Matthiesen 2016; 2011). Konsentrasjonene av Na og Cl var stabile i 2011, 2008 og 2009. Men sulfatkonsentrasjonen var sunket i 2011 (bortsett fra i MB27). Tilgangen har dermed sunket, noe som kanskje kan forklares med bedringer i va-systemet. I MB25 som ligger i naturgrunn øker konsentrasjonen av Na og Cl etter 2008, dette indikerer muligvis endret vannstrømmønster.

2.2.2.4.4 Område D: stillestående grunnvann i sentralområdet

I sentralområdet på Bryggen regnes bevaringsforholdene per 2016 fortsatt som utmerkede, og det har vært lite endringer gjennom overvåkingsperioden. Til gruppen hører miljøbrønnene i MB2, MB6, MB1, MB10, MB12, MB14, MB18, MB19, MB20, MB38 og MB39 og FB1 (dypeste nivåer). Vannet fra disse prøvene kjennetegnes av Ca²⁺, HCO₃⁻, NH₄⁺, CH₄ og andre reduserte stoffer, med generelt økende konsentrasjoner i dybden. Bevaringsforholdene i de dypere liggende lagene regnes som utmerkede, og nedbrytningsraten er veldig lav (Matthiesen 2009; 2008b; 2012; 2016).

2.2.2.4.5 Område E: Bevaringsforholdene i sørøstlig område på Bryggen

I perioden 2010–2014 ble miljøovervåkingsområdet utvidet til østlig del av Bryggen. Det ble installert miljøbrønner rundt og under Hanseatisk museum (MB34, MB35, MB48 og MB49) og langs Rosenkrantzgate (MB43 og MB44) (Holleson & Matthiesen 2015; Matthiesen 2011; Walpersdorf 2013). De første rapportene fokuserte på de dårlige bevaringsforholdene i de øvre, umettede lagene. I de fleste brønnene var dette moderne fyllmasser (MB34, MB35, MB43 og MB44). Kun i MB48 og

MB49 under Hanseatisk museum var det organiske kulturlag i de øvre lagene, og der ble det påvist økte temperaturer i lagene under museet (Hollesen & Matthiesen 2015). I mettet sone ble det vurdert om det var spor av sjøvannsinntrenging i grunnvannssammensetningen. Måleserien var derimot for kort til å konkludere om dette. Brønnene MB34, MB35, MB44, MB48 og MB49 ble installert i perioden 2010-2014, men det er uklart om det foreligger sluttrapporter. I sørøstlig område tyder resultatene av grunnvannsprøvene i 2015 på at grunnvannskjemien er lignende grunnvannssammensetningen i område D. Generelt ser bevaringsforholdene i sørøstlig område ut til å være gode i mettet sone. Unntaket er MB44, som viser lett oksiderte forhold med tilstedeværelse av nitrat, og økte temperaturer i MB34 og MB35 (Matthiesen 2016, 2012).

2.2.2.5 Bryggen MOV

I 2019 startet det opp et nytt miljøovervåkingsprosjekt for Bryggen: Bryggen MOV (Figur 3). Prosjektet er del av det langsiktige miljøovervåkingsprosjektet «Overvåking av kulturlag og setningsutvikling og drift og vedlikehold av infiltrasjonsanlegg på Bryggen» som ledes av NIKU på oppdrag fra Riksantikvaren. Målet med dette har vært å få oversikt over alle overvåkingspunkter, operative overvåkingssystemer og I/T systemet (vanninfiltrasjon). Dette var etter at miljøovervåkingen på Bryggen hadde vært uten aktiv oppfølging i noen år. Tidligere var det mange aktører involvert, da det var et internasjonalt forskerteam knyttet til det gamle Bryggenprosjektet. Fra 2019 samles alle data i Cautus Web databasen. Foreløpig foreligger det to statusrapporter: NIKU rapport 100 (Hind et al. 2020); og 107 (Dunlop et al. 2021).

Arbeidet som skal gjennomføres omfatter oppfølging av miljøbrønnene med muligens en reduksjon i antall brønner. I tillegg skal grunnvannsnivå, vannkemi, setningsskader og bevegelse i grunn og bygninger overvåkes. De eksisterende miljøbrønnene har blitt fulgt opp i varierende grad frem til 2019. COWI/NIKU skal revidere og reetablere miljøovervåkingsprogrammet. COWI har redegjort for avvik ved hvert målepunkt i sin gjennomgang av prosjektets miljøbrønner. Når det gjelder logging av oksygen var ikke det fulgt opp siden 2018, men nyere målinger kan se ut til at det er nye innslipp av oksygen i dypere lag (Hind et al. 2020). Profil i umettet sone, i prøvehullet bak Bugården, viser målinger av vanninnhold (2006–2020), oksygeninnhold og temperatur (2010–2020) (se Matthiesen og Hollesen 2018). I 2021 ble det tatt vannkjemiske analyser fra 6 miljøbrønner: MB5, MB13, MB2, MB38, MB14, MB48 og MB1. pH-målinger viste at alle prøvene lå på den sure siden av nøytralt, dvs. i området 6,4–6,9. Bevaringsforholdene MB2 og MB12 var middels, mens det er gode forhold i øvrige brønner (NIKU rapport 100, 107).

Brønn	Dyp til vann (m)	Temperatur (Co)	Konduktivitet (mS/m)	Konduktivitet overgang (µS/cm) (Dyp m)	pH
MB5	1,2	12,4	80	108 (3,10m)	
MB13	1,6	13,2	520		6,5
MB2	1,3	11,4	197	800 (2m)	6,5
MB38	1	11,2	560	730 (4m)	6,4
MB14	1	11,3	550		6,5
MB48	1,1	12,0	200*		6,9
MB12	1	11,2	300*		6,6

Tabell 34: Sammenstilling av måledata.

Brønn / Profil	Periode	Grunn-vann	Temperatur °C	pH	Lednings-evne mScm -1	Redoks mV	Oksy-gen %	Vanninnhold
MB5	28.2.2019-1.3.2021	0,5–1,1 m	13°C om sommer 7°C om vinter	Ca. 7	mellom 0 og 200 µS/cm	rundt -320 mV		

MB13	28.2.2019- 1.3.2021	0,8 m og 1,3 m dyp, og har stort sett fulgt årstidene				Ca. -350 mV	0 mg/l	
Profil bak Bredsgården	2011– 1.3.2021		Tempera- turen følger årstidsvar- iasjonene				Sensoren som befinner seg 3,92 moh. viser 80– 100% O ₂ , mens sensoren på 2,0 moh. viser ca. 0,12%	Vanninnholdet ligger på 20– 30% ved 3,92 moh. Dypere ned ligger vanninnholdet på 65–70%

Tabell 35: Sammenstilling av måledata.

2.2.2.5.1 Avvik

MB5: I november 2020 oppstod et problem med dataforsendelsene fra miljøsondene, og nyere data må derfor anses som upålitelige.

MB13: I november 2020 oppstod et problem med dataforsendelsene fra miljøsondene, og nyere data må derfor anses som upålitelige. Målingene av ledningsevne, redoks og pH var veldig ustabile i begynnelsen av 2021 og anses som ikke pålitelige. Oksygensensoren har vist upålitelige målinger, dvs. negative konsentrasjonen, etter at den ble satt i gang på nytt i februar 2021.

Profil: I 2020 skjedde det noe med sensoren som er på 2,0 moh. som gjør at det ikke lenger registreres vanninnhold i dette punktet.

2.2.2.5.2 Resultater

MB13: Det er vanskelig å si noe om bevaringsforholdene da det tilsynelatende er flere sensorer som viser ustabile og upålitelige målinger. Ved kun å se på situasjonen fram til november 2020, følger vannstand og temperatur de offisielle målingene av temperatur og nedbør. Ledningsevne og pH har også holdt seg stabilt, men noen få unntak for ledningsevne som trolig skyldes instrumentelle forhold. Redoks-sensoren vier også stabile reduktive forhold, ca. -350 mV, fram til november med unntak av en periode tidlig på året i 2020. Oksygensensoren viste verdier rundt 0 mg/l frem til høsten 2020. Det kan derfor konkluderes med at bevaringsforholdene var stabile frem til høsten 2020.

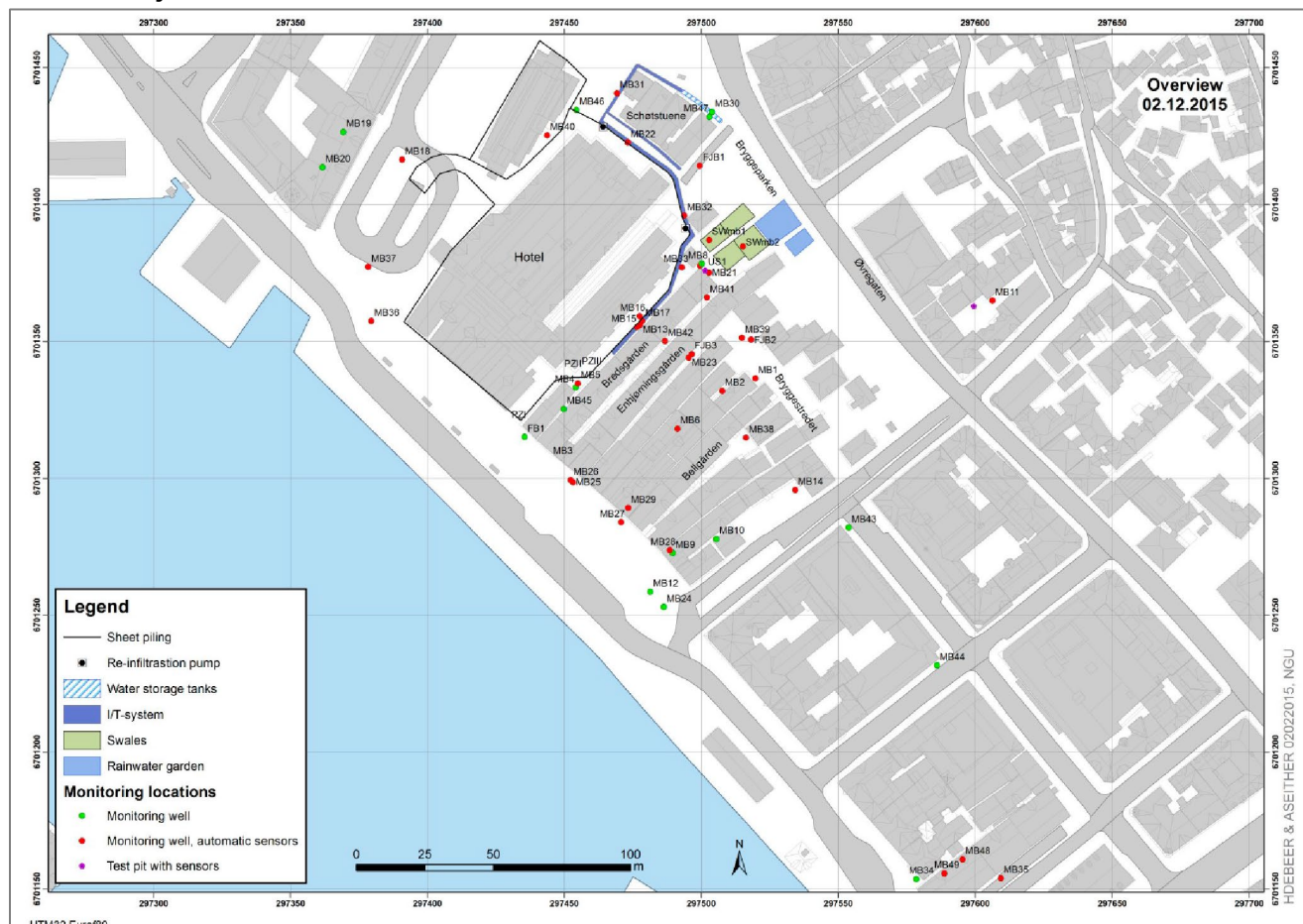
Prøvehull bak Bredsgården (2011–01.03.2021): Årsvariasjonene observert her er til dels dramatiske, mens vanninnhold er stabilt. Vi vet at det også tidligere er observert store variasjoner på denne lokaliteten. Det er usikkert hva som driver disse endringene, det kan både ha sammenheng med varierende oksygenivå sommer/vinter og mulig vannstandsending. Punktet vil bli overvåket nærmere i det kommende året, så man kan vurdere om det bør settes inn avbøtende tiltak (NIKU rapport 100, 107).

Siste statusrapport på miljøovervåkingsprogrammet på Bryggen i Bergen er NIKU rapport 107, med status for Bryggen MOV pr 31.3.2021 (Dunlop et al. 2021).

Som man kan se har det vært etablert veldig mange undersøkelses- og miljøovervåkingspunkter på Bryggen. Av disse er nå 21 operative. Mange brønner ble avvirket etter det store og vellykkede redningsprogrammet, Grunnvannsprosjektet, med bl.a. tetting av spuntveggen mot hotellet og etablering av infiltrasjonsbed og -ledninger (Rytter & Schonhowd 2015). Vi ser at det er områder som er stabile og områder som er mere utsatte for risiko, særlig i forbindelse med fremtidige infrastrukturinngrep og ved fremtidige klimaforandringer. Det eneste punkt som overvåkes i profil er

ved å nå grensen for sensor- og datalogger-holdbarhet. Om man mister informasjon fra målinger direkte i kulturlagene, blir det vanskeligere å tolke data innsamlet via grunnvann i miljøbrønnene.

2.2.2.6 Miljøbrønner enkeltvis



Figur 5: Kart over miljøbrønner på Bryggen, hentet fra Matthiesen 2016.

2.2.2.6.1 MB 1 (bak Svensgården Bygning Ve); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2002, og ble avviklet i 2014. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2002, 2003, 2005, 2008, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. MB1 hører til område D, med stabilt grunnvann og utmerkede bevaringsforhold. I 2002 ble det påvist stabile forhold i vannkjemiprøven, men forhøyede saltnivåer, trolig som følge av nedtrenging av veisalt.

2.2.2.6.2 MB2 (Svensgården passasje, ved Bygning Ve); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2002, og er fortsatt i drift. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2002, 2003, 2005, 2007, 2008, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. MB2 hører til område D, med stabilt grunnvann og utmerkede bevaringsforhold. I 2002 ble det påvist stabile forhold i vannkjemiprøven, men forhøyede saltnivåer, trolig som følge av nedtrenging av veisalt.

2.2.2.6.3 MB3 (Bryggen sjøfront, fortau); fjernet

Brønnen ble etablert i 2000. Det foreligger vannkjemiprøve fra 2005, og jordkjemiprøver fra boringen. Det viste seg at brønnen lå i en avløpsgrøft, og derfor ble den avviklet.

2.2.2.6.4 MB4 (Bugården)

Brønnen ble etablert i 2002. Det foreligger vannkjemiprøve fra 2005, 2008, 2011 og 2015. MB4 hører til område B, ved spuntveggen. I 2011 ble det påvist at grunnvannet i MB4 var utblandet med

regnvann. I 2015 viste MB4 mindre utblanding med regnvann, og en utvikling mot stabile, stillestående forhold.

2.2.2.6.5 MB5 (Bugården); Multiparametersonde Aktiv

Brønnen ble etablert i 2002, og det foreligger en jordprøveserie fra 2003. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2003, 2005, 2007, 2008, 2011 og 2015. I 2012 ble det installert en multiparametersonde som gir løpende målinger av vannstand, temperatur, ledningsevne, oksygen, redokspotensial og pH MB5 hører til område B, ved spuntveggen. I 2011 ble det rapportert om svært dynamiske forhold ved MB5, med hyppig nedtrenging av oksygenrikt vann, og veksling mellom oksiske og anoksiske forhold. I 2015 viste MB5 langt mindre dynamiske forhold, med færre og kortere målinger med oksygen. Ved COWIs gjennomgang av aktive miljøbrønner ble det markert avvik i flere dataserier siden november 2020.

2.2.2.6.6 MB6 (Svensgården Bygning IVe); vannstandsmåler Aktiv

Brønnen ble etablert i 2003. Det ble da tatt ut jordkjemiprøver og vannkjemiprøve (Matthiesen 2004a). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2003, 2005, 2008, 2010, 2011, 2015 (Eurofins). MB6 hører til område D, med stabilt, stillestående grunnvann og utmerkede bevaringsforhold.

2.2.2.6.7 MB7 (Bugården/Bredsgården); vannstandsmåler Aktiv

Brønnen ble etablert i 2003, og det foreligger en jordprøveserie fra 2003. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2005, 2008, 2011, 2015. MB7 tilhører område A, det drenerte området bak Bryggen, men ligger også nær nok spuntveggen til at den kan tilhøre område B. MB7 ligger ved testgropen bak Bredsgården, og er et referansepunkt for denne. I MB7 fluktuerte grunnvannet og kulturlagene lå både over og under grunnvannsnivå. Over grunnvannsnivå var bevaringsforholdene kritiske, fordi det kan være stor tilgang på oksygen gjennom umettede lag. Bevaringsforhold under grunnvannsnivå ser ut til å være anoksiske, utfra grunnvannsprøver, med lite sulfat og nitrat, og mye oppløst jern (Matthiesen 2010a).

2.2.2.6.8 MB8 (Bugården/Bredsgården)

Brønnen ble etablert i 2005. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2011, 2015. MB8 tilhører område A, det drenerte området bak Bryggen, men ligger også nær nok spuntveggen til at den kan tilhøre område B. I 2015 var konsentrasjonene av jern og sulfat i grunnvannet sunket i forhold til tidligere års målinger.

2.2.2.6.9 MB9 (Fiskebutikken / Nordre Holmedalsgården, bygning Villa)

Brønnen ble etablert i 2004, og er en kort miljøbrønn. Det ble da tatt ut jordkjemiprøver og vannkjemiprøve (Matthiesen 2005b). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2005, 2008, 2011, og 2015. MB9 tilhører område C, kaifronten, hvor sjøvannsinntrenging i kulturlagene gir grunnlag for nedbrytningsprosesser med sulfatreduksjon. MB9 ligger i et område som har vært utsatt for hyppige oversvømmelser med sjøvann, og har den høyeste sulfatkonsentrasjonen målt på Bryggen.

2.2.2.6.10 MB10 (Søndre Holmedalsgården)

Brønnen ble etablert i 2005 (Dunlop 2008b, Matthiesen 2006b). Det foreligger en jordkjemiserie og vannkjemiprøver fra 2005, 2008 og 2011. I 2015 var brønnen utilgjengelig. MB10 tilhører område C, kaifronten, hvor sjøvannsinntrenging i kulturlagene gir grunnlag for nedbrytningsprosesser med sulfatreduksjon. I 2011 var det høye saltkonsentrasjoner og spor av noe sjøvannspåvirkning i MB10. MB10 er en dyp brønn, så vannprøvene kommer fra lag med stabilt gode bevaringsforhold (Matthiesen 2006b).

2.2.2.6.11 MB11 (Øvregaten 19); multiparametersonde, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2005 (Dunlop 2005, 2008b). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2005, 2007, 2008, 2011, og 2015. MB11 hører til område B, ved spuntveggen. I 2011 ble det rapportert om svært dynamiske forhold ved MB11, med hyppig nedtrenging av oksygenrikt vann, og veksling mellom oksiske og anoksiske forhold.

2.2.2.6.12 MB12 (Bryggekaiaen)

Brønnen ble etablert i 2005 (Dunlop 2008b). Det foreligger en jordkjemiserie, og vannkjemiprøver fra 2005, 2008, 2011, og 2015. MB12 hører til område D, med stabilt, stillestående grunnvann og utmerkede bevaringsforhold. I 2006 ble det anslått at MB12 hadde gode bevaringsforhold, men at det var høyt saltinnhold og mindre gode bevaringsforhold i de øvre lagene, fordi brønnen lå i et område utsatt for flomvann.

2.2.2.6.13 MB13 (Bugården); multiparametersonde, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2005 (Dunlop 2011b). I 2012 ble det installert en multiparametersonde som gir løpende målinger av vannstand, temperatur, ledningsevne, oksygen, redokspotensial og pH. Det foreligger jordkjemiserie, og vannkjemiprøver fra 2005, 2008, 2011, og 2015. MB13 hører til område B, ved spuntveggen. I 2011 ble det påvist at grunnvannet i MB13 var utblandet med regnvann. I 2006 ble det påpekt at det er lite organisk innhold i de øvre meterne i brønnen, og at vannprøven indikerte reduserte forhold. I 2015 viste MB13 mindre utblanding med regnvann, og stabile forhold. Ved COWIs gjennomgang av miljøbrønner på Bryggen ble det bemerket at MB13 har avvik på flere dataserier etter november 2020, og måler feil vannstand.

2.2.2.6.14 MB14 (Søndre Holmedalsgården); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2005 (Dunlop 2008b). Det foreligger jordkjemiprøver, og vannkjemiprøver fra 2005, 2008, 2011, 2015. MB14 hører til område D, med stabilt, stillestående grunnvann og utmerkede bevaringsforhold. I 2006 var det påfallende lavt saltinnhold, men høyt Mg innhold i vannprøven, og ellers reduserte forhold.

2.2.2.6.15 MB15 (Bredsgården / Bugården); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2009, da ble det tatt ut en jordprøveserie. Bevaringsforholdene ved MB15 var da bekymringsverdige, i forhold til nærliggende MB13 som ble boret i 2005. Undersøkelsen kan ha avdekket pågående nedbrytningsprosesser i de dypere lagene nær spuntveggen (Dunlop 2010a; Matthiesen 2010a). Det foreligger vannkjemiprøve fra 2009, 2011 og 2015. MB15 hører til område B, ved spuntveggen og Schøtstuene. I 2011 ble det påvist at grunnvannet i MB15 var utblandet med regnvann, denne trenden var snudd i prøvene fra 2015, og forholdene fremstår som stabile. Brønnen ble avvirket i 2015.

I 2010 ble det utferdiget en installasjonsrapport med første års resultater (Matthiesen 2010a). I denne rapporten gjennomgås også tidligere resultater fra området. To hovedutfordringer blir adressert her; uttørring og økt gjennomrenning av vann. Disse miljøbrønnene bidro til å kartlegge områdene utsatt for uttørring, mengden middelalderske kulturlag, i umettet sone ved Schøtstuene. Noen lag i umettet sone har gode bevaringsforhold, trolig på grunn av et beskyttende lag med hagejord, som fanger opp oksygen og hindrer at luft trenger ned i dypere lag. Kulturlagene er generelt svært organiske.

2.2.2.6.16 MB16 (Bugården); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2005 (Dunlop 2008b). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2007, 2008, 2011 og 2015. MB16 hører til område B, innenfor spuntveggen. I 2011 ble det påvist at grunnvannet i MB16 var utblandet med regnvann. I 2015 var prøvene fra MB16 svært varierende, med spor av sjøvann. Ved Cowis gjennomgang av miljøbrønner på Bryggen i 2020 gav MB16 feil vannstand.

2.2.2.6.17 MB17 (Bugården); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2007. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2007, 2008, 2011 og 2015. MB17 hører til område B, ved spuntveggen. Ved COWIs gjennomgang av miljøbrønner på Bryggen i 2020 gav MB17 kun ca. en vellykket måling i døgnet.

2.2.2.6.18 MB18 (Dreggsallmenningen); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2006 (Dunlop 2008d). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2007, 2008 og 2011, og jordkjemiprøver fra boringen. I 2015 var ikke brønnen tilgjengelig. MB18 hører til område D, med stabilt, stillestående grunnvann og utmerkede bevaringsforhold. Brønnen ble avvirket i 2015.

2.2.2.6.19 MB19 (under Slottsgaten 1)

Brønnen ble etablert i 2005. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2008, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. MB19 hører til område D, med stabilt, stillestående grunnvann og utmerkede bevaringsforhold. I 2008 gav MB19 og MB20 under Slottsgaten 1 høyere temperaturer og jerninnhold enn omkringliggende brønner på Bryggen.

2.2.2.6.20 MB20 (under Slottsgaten 1)

Brønnen ble etablert i 2005. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2008, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. MB19 hører til område D, med stabilt, stillestående grunnvann og utmerkede bevaringsforhold. I 2008 gav MB19 og MB20 under Slottsgaten 1 høyere temperaturer og jerninnhold enn omkringliggende brønner på Bryggen.

2.2.2.6.21 MB21 (Nordre Bredsgården); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2006 (Dunlop 2008c), i tilknytning til testgropen bak Nordre Bredsgården, for overvåking i umettet sone. Resultatene fra MB21 er diskutert opp mot resultatene fra testgropen i umettet sone. I MB21 fluktuerte grunnvannet og kulturlagene lå både over og under grunnvannsnivå. Over grunnvannsnivå var bevaringsforholdene kritiske, fordi det kan være stor tilgang på oksygen gjennom umettede lag. Bevaringsforhold under grunnvannsnivå ser ut til å være anoksiske, utfra grunnvannsprøver, med lite sulfat og nitrat, og mye oppløst jern. I 2015 var konsentrasjonene av jern og sulfat i grunnvannet sunket i forhold til tidligere års målinger. (Matthiesen 2007; 2010; 2016; Matthiesen & Hollesen 2011; 2012; 2013, 2018, Dunlop 2012). MB21 er en kort miljøbrønn i område A. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen.

2.2.2.6.22 MB22 (bak SAS hotellet, utenfor spunt); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2006 (Dunlop 2008d). Det foreligger vannkjemiprøver 2007, 2008, 2011 og 2015. I MB22 var det lav grunnvannsstand, trolig pga. spuntveggen. MB22 tilhører det drenerte området A og området ved spuntveggen, område B. I 2015 var konsentrasjonene av jern og sulfat i grunnvannet sunket i forhold til tidligere års målinger (Matthiesen 2016).

2.2.2.6.23 MB23 (Enhjørningsgårdens passasje); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2006 (Dunlop 2008d). Det foreligger vannkjemiprøver 2007, 2008, 2011 og 2015. MB22 tilhører område B, ved spuntveggen (Matthiesen 2010a).

2.2.2.6.24 MB24 (Bryggens sjøfront, fortau)

Brønnen ble etablert i 2007, i forbindelse med etablering av en ny 5 m dyp kloakkpumpestasjon. Det foreligger jordkjemiprøveserie (Matthiesen 2008a, Dunlop 2008e). Det foreligger vannkjemiprøver 2008, 2011 og 2015. MB24 tilhører område C, kaifronten, som er utsatt for sjøvannsinntrenging, Sulfatkonsentrasjonene i MB24 er de høyeste målt på Bryggen (10 mmol/L). De høyeste kloridinnholdet finnes i de øvre porøse lagene ved bryggefronten, særlig i sørøstre hjørne av Bryggen, ved MB24. Dette tyder på inntrenging av sjøvann (Matthiesen 2008a; 2010b; 2011; 2016).

2.2.2.6.25 MB25 (Bryggens sjøfront, fortau)

Brønnen ble etablert i 2007, og ligger nede i naturgrunn (Matthiesen 2008a, Dunlop 2008e). Det foreligger vannkjemiprøver 2008, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. MB25 tilhører område C, kaifronten, som er utsatt for sjøvannsinntrenging. I 2011 ble det påvist høye saltkonsentrasjoner og spor av noe sjøvannspåvirkning i MB25. Konsentrasjonen av Na and Cl har økt siden 2008, dette tolkes som en indikasjon på at vannstrømmønsteret er i endring. Sulfatet i sjøvann finnes i en gitt ratio i forhold til klorider, og der sulfatet er borte ser det ut til at det har blitt fjernet ved sulfatreduksjon. MB25 og MB26 har halvparten av forventet sulfatmengde. Også resten av miljøbrønnene ved kaifronten har mye lavere sulfatrate enn antatt.

2.2.2.6.26 MB26 (Bryggens sjøfront, fortau); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2007, og er en grunnbrønn. Boringen av brønnen ble ikke overvåket arkeologisk (Dunlop 2008e). Det foreligger vannkjemiprøver 2008, 2011 og 2015. MB26 tilhører

område C, kaifronten, som er utsatt for sjøvannsinntrenging. Innholdet av klorid i MB26 er svært høy. Dette tyder på inntrenging av sjøvann. MB25 og MB26 har halvparten av forventet sulfatmengde og resten av miljøbrønnene ved kaifronten har mye lavere sulfatrate enn antatt. Sulfatet i sjøvann finnes i en gitt ratio i forhold til klorider, og der sulfatet er borte ser det ut til at det har blitt fjernet ved sulfatreduksjon (Matthiesen 2008a; 2010b). Brønnen ble avviklet i 2014.

2.2.2.6.27 MB27 (Bryggens sjøfront, fortau)

Brønnen ble etablert i 2007. Boringen av brønnen ble ikke overvåket arkeologisk (Dunlop 2008e). Det foreligger vannkjemiprøver 2008, 2011 og 2015. MB26 tilhører område C, kaifronten, som er utsatt for sjøvannsinntrenging. Innholdet av klorid i MB27 er svært høyt. Dette tyder på inntrenging av sjøvann (Matthiesen 2008a; 2010b).

2.2.2.6.28 MB28 (Holmedalsgården 8a); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2009 for å undersøke inntrengning og effekten av saltvann fra Vågen. Bevaringen i grunnvannsnivå var medium god (Lorvik & Dunlop 2009). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2009, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. MB29 tilhører område C, kaifronten, som er utsatt for sjøvannsinntrenging (Matthiesen 2010b). Brønnen ble avviklet i 2015.

2.2.2.6.29 MB29 (Svensgården 5a); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2009 for å undersøke inntrengning og effekten av saltvann fra Vågen. Bevaringen i grunnvannsnivå var medium god (Lorvik & Dunlop 2009). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2009, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen MB29 tilhører område C, kaifronten, som er utsatt for sjøvannsinntrenging (Matthiesen 2010b). Brønnen ble avviklet i 2015.

2.2.2.6.30 MB30 (Schøtstuene: Dramshusens ildhus); avviklet

Brønnen ble etablert i 2009, og tilhører det uttørkede området A, og har nærhet til spuntveggen og område B. Bevaringstilstanden var dårlig til middels i de øvre lagene, og bedre i de dypere lagene. Området har vært utsatt for senkning av vannstanden. Det var ikke grunnvann i brønnen, men det ble tatt jordkjemiprøver ved boring (Dunlop 2009; Matthiesen 2010a). Brønnen ble fjernet i 2013 da den lå i veien for infrastruktur. Den er erstattet av MB47.

2.2.2.6.31 MB31 (Schøtstuene, ved Svensgårdens stue); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2009, og tilhører det uttørkede området A, og har nærhet til spuntveggen og område B. Bevaringstilstanden var dårlig til middels i de øvre lagene, og bedre i de dypere lagene. Det var ikke grunnvann i brønnen i 2009, men det foreligger en vannkjemiprøve fra 2011 og jordkjemiprøver fra boring. I 2015 var den igjen tørr (Dunlop 2009; Matthiesen 2010a). Brønnen ble avviklet i 2015.

2.2.2.6.32 MB32 (Schøtstuene: ved Arent Meyers kjeller); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2009, og tilhører det uttørkede området A, og har nærhet til spuntveggen og område B. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2009, 2011 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. I MB32 fluktuerte grunnvannet og kulturlagene lå både over og under grunnvannsnivå. Over grunnvannsnivå var bevaringsforholdene kritiske, fordi det kan være stor tilgang på oksygen gjennom umettede lag. Bevaringsforhold under grunnvannsnivå ser ut til å være anoksiske, utfra grunnvannsprøver, med lite sulfat og nitrat, og mye oppløst jern. I 2015 var konsentrasjonene av jern og sulfat i grunnvannet sunket i forhold til tidligere års målinger (Dunlop 2009; Dunlop 2012; Matthiesen 2010a).

2.2.2.6.33 MB33 (Bugården); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2009, og tilhører det uttørkede området A, og har nærhet til spuntveggen og område B. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2009 og 2011, og jordkjemiprøver fra boringen. I 2015 var brønnen utilgjengelig. I MB33 fluktuerte grunnvannet og kulturlagene lå både over og under grunnvannsnivå i 2010. Over grunnvannsnivå var bevaringsforholdene kritiske, fordi det kan være stor tilgang på oksygen gjennom umettede lag. Bevaringsforhold under grunnvannsnivå ser ut til å være

anoksiske, utfra grunnvannsprøver, med lite sulfat og nitrat, og mye oppløst jern (Dunlop 2010a; 2012; 2015, Matthiesen 2010a). Bevaringsforholdene ved MB33 var bekymringsverdige, sett i forhold til observasjoner da nærliggende MB7 ble boret. Undersøkelsen kan ha avdekket pågående nedbrytningsprosesser i de dypere lagene nær spuntveggen (Dunlop 2010).

2.2.2.6.34 MB34 (Finnegården, ved Det Hanseatiske Museum)

Brønnen ble etablert i 2010, for å kartlegge grunnforholdene i forkant av bybaneutbyggingen. MB34 tilhører område E; sørøstlige Bryggen. Generelt ser bevaringsforholdene i sørøstlig område ut til å være gode i mettet sone, men ved MB34 er det noe økte temperaturer. Det foreligger jordkjemiprøver, og vannkjemiprøver fra 2010, 2011, 2014 og 2015. Resultatene viste at de øvre lagene var sandige med lite organisk innhold, noe som øker oksygentransport til dypere liggende lag. Bevaringsforhold over grunnvannsnivå er dårlige, men disse lagene er hovedsakelig moderne. Lagene i mettet sone var organiske, og mer utsatt. Nærhet til sjøen øker risiko for nedbrytning som følge av inntrenging av sjøvann. Høye nivåer av sulfur og pyritt viser at dette har pågått tidligere. I grunnvannet var det lite sulfur, som trengs for denne type nedbrytningsprosesser. Grunnvannsstrømmen kan være påvirket av byggeaktivitet i området, noe som igjen påvirker tilgangen på sulfur. I MB34 var det hovedsakelig middels gode bevaringsforhold, trolig på grunn av flere moderne inngrep rett i nærheten, utgravninger og inntrenging av sjøvann (Matthiesen 2011, Dunlop 2010, Walpersdorf 2013)

2.2.2.6.35 MB35 (Finnegårdsgaten, ved Det Hanseatiske Museum); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2010, for å kartlegge grunnforholdene i forkant av bybaneutbyggingen. MB35 tilhører område E; sørøstlige Bryggen. Generelt ser bevaringsforholdene i sørøstlig område ut til å være gode i mettet sone, men ved MB35 er det noe økte temperaturer. Det foreligger jordkjemiprøver, og vannkjemiprøver fra 2010, 2011, 2014 og 2015. Resultatene viste at de øvre lagene var sandige med lite organisk innhold, noe som øker oksygentransport til dypere liggende lag. Bevaringsforhold over grunnvannsnivå er dårlige, men disse lagene er hovedsakelig moderne. Lagene i mettet sone var organiske, og mer utsatt. Nærhet til sjøen øker risiko for nedbrytning som følge av inntrenging av sjøvann. Høye nivåer av sulfur og pyritt viser at dette har pågått tidligere. I grunnvannet var det lite sulfur, som trengs for denne type nedbrytningsprosesser. Grunnvannsstrømmen kan være påvirket av byggeaktivitet i området, noe som igjen påvirker tilgangen på sulfur. I MB35 var det hovedsakelig middels gode bevaringsforhold, trolig på grunn av flere moderne inngrep rett i nærheten, utgravninger og inntrenging av sjøvann (Matthiesen 2011, Dunlop 2010, Walpersdorf 2013).

Ved COWIs gjennomgang av miljøbrønner på Bryggen i 2020 ble det observert at MB35 kun tar én vellykket måling i døgnet.

2.2.2.6.36 MB36 (Dreggsallmenningen, på kaiområdet); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2011, og inneholdt kun etterreformatoriske kulturlag. Det foreligger en vannkjemimåling fra 2012, og jordkjemiprøver fra boringen (Dunlop 2012). I 2015 var MB36 utilgjengelig. MB36 hører til område C, kaifronten med utfordringer med sjøvannsinntrenging. Det er høyt kloridinnhold i grunnvannet, noe som tyder på betydelig sjøvannspåvirkning. Grunnvannet er sterkt påvirket av tidevann og regnvann. I MB36 er forholdene varierende ned til -3 moh, og sjøvannsinntrengingen går helt ned til -5 moh. Bevaringsforholdene i de øvre lagene er dårlig til elendig, men det er tilsynelatende bedre forhold i dybden (Walpersdorf 2013). Brønnen ble avvirket i 2015.

2.2.2.6.37 MB37 (Dreggsallmenningen); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2011, og inneholdt kun etterreformatoriske kulturlag. Det foreligger en vannkjemimåling fra 2012, og jordkjemiprøver fra boringen (Dunlop 2012). I 2015 hadde MB37 regnvann som rant ned i brønnen, så det ikke kunne tas ut prøve. MB37 hører til område C, kaifronten med utfordringer med sjøvannsinntrenging. Det er høyt kloridinnhold i grunnvannet, noe som tyder på betydelig sjøvannspåvirkning. Grunnvannet er sterkt påvirket av tidevann og regnvann. Forholdene er varierende ned til -3 moh, og sjøvannsinntrengingen går helt ned til -5 moh. Bevaringsforholdene i de

øvre lagene er dårlig til medium. I MB37 fungerer et kompakt organisk lag som barriere mot nedsig av oksygen (Walpersdorf 2013). Brønnen ble avviklet i 2015.

2.2.2.6.38 MB38 (Bellgården / Jacobsfjorden); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2011 (Dunlop 2011a). Det ble tatt jordkjemi og vannkjemiprøver (Walpersdorf 2012). Det foreligger vannkemiprøver fra 2011 og 2015. Spesielt fokus lå på vanngjennomstrømming og drenering for bevaringsforholdene. Resultatene viste dårlig bevaringstilstand i de gjennomtrengelige sandige lagene i øvre del av brønnene, men mer kompakte lag hadde medium bevaring. Brønnen ligger i område D, som kjennetegnes av stillestående grunnvann og svært gode bevaringsforhold. Vannkemianalysen bekreftet et anoksisk miljø, med lite tilgang på oksygen. I MB38 er det lite vanngjennomstrømming. Forholdene var utmerket i de dypeste lagene, mens forholdene i øvre lag er mer usikre (Walpersdorf 2012).

2.2.2.6.39 MB39 (Bryggestredet, i Enhjørningsgården), vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2011, for å få mer kunnskap om romlig spredning i bevaringsforhold på Bryggen (Dunlop 2011a). Det ble tatt jordkjemi og vannkemiprøver (Walpersdorf 2012). Det foreligger vannkemiprøver fra 2011 og 2015. Spesielt fokus lå på vanngjennomstrømming og drenering for bevaringsforholdene. Resultatene viste dårlig bevaringstilstand i de gjennomtrengelige sandige lagene i øvre del av brønnene, men mer kompakte lag hadde medium bevaring. Ved MB39 er bevaringsforholdene dårlig til elendig i umettet sone, dårlig til god rett under grunnvannsnivå hvor oppløst sulfat tilføres fra øvre lag, og god til utmerket i de dypeste lagene. Nedbrytningsprosesser i umettet sone påvirket MB39 grunnvann og jord lenger ned ved å tilføre oppløste redoksaktive arter som sulfat, noe som kan øke nedbrytning i lagene. De dypere lagene har god bevaringstilstand. Brønnen ligger i område D, som kjennetegnes av stillestående grunnvann og svært gode bevaringsforhold. Vannkemianalysen bekreftet et anoksisk miljø, med lite tilgang på oksygen. Vanngjennomstrømming er forhøyet i MB39, som er utsatt for regnvann (Walpersdorf 2012). I 2015 var konsentrasjonene av jern og sulfat i grunnvannet sunket i forhold til tidligere års målinger. Brønnen ble avviklet i 2015.

2.2.2.6.40 MB40 (ved Bryggens Museum); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2013. Det foreligger vannkemiprøver fra 2012 og 2015, og jordkemiprøver fra boringen. Brønnen tilhører område A, det drenerte området på baksiden av Bryggen. Det var ikke kulturlag i denne brønnen, siden den ligger i utgravningsområdet.

2.2.2.6.41 MB41 (Bredsgårdens passasje, nord); vannstandsmåler

Brønnen ble etablert i 2011, og er en kort brønn på 3 m, ment for å overvåke eventuelle forandringer i de øvre kulturlagene i forbindelse med tiltak i Grunnvannsprosjektet (Dunlop 2010a; 2015a). Det foreligger vannkemiprøver fra 2012 og 2015. Brønnen tilhører område A, det drenerte området på baksiden av Bryggen. Bevaringsforholdene var middels dårlig ved MB41 og MB42, og grunnvannsnivået var utilfredsstillende (Dunlop 2015a). I MB41 er de mye regnvannspåvirkning. Grunnvannsnivået heves sakte. Bevaringsforhold og tilstand over grunnvannsnivå er dårlig, men øker til medium under grunnvannsnivået. Finkornete organiske lag gir mindre oksygentransport. Bevaringsforholdene i de øvre kulturlagene er dårlig (Walpersdorf 2013). Brønnen ble avviklet i 2015.

2.2.2.6.42 MB42 (nordre del av Bredsgårdens passasje); vannstandsmåler, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2011, og er en kort brønn på 3 m, ment for å overvåke eventuelle forandringer i de øvre kulturlagene i forbindelse med tiltak i Grunnvannsprosjektet (Dunlop 2010a; 2015a). Det foreligger vannkemiprøve fra 2012, og jordkemiprøver fra boringen. I 2015 var MB42 utilgjengelig. Brønnen tilhører område A, det drenerte området på baksiden av Bryggen. Bevaringsforholdene var middels dårlig ved MB41 og MB42, og grunnvannsnivået var utilfredsstillende (Dunlop 2015a). I MB42 er det mye regnvannspåvirkning. Grunnvannsnivået heves sakte. Bevaringsforhold og tilstand over grunnvannsnivå er dårlig, men øker til medium under grunnvannsnivået. Finkornete organiske lag gir mindre oksygentransport. Bevaringsforholdene i de øvre kulturlagene er dårlig til medium (Walpersdorf 2013).

2.2.2.6.43 MB43 (Rosenkrantzgate)

Brønnen ble etablert i 2012, og var en dyp miljøbrønn (Dunlop 2012). De påtrufne kulturlagene hadde usikre bevaringsforhold, og har vært påvirket av masseutskifting i forbindelse med parkeringsbygg i øvre lag. Det var lite organisk i de øvre lagene. Det ble tatt ut vannkjemiprøver i 2012, og jordkjemiprøver fra boringen. I 2015 var brønnen utilgjengelig. MB43 tilhører område E, på sørøstlig del av Bryggen. Brønnen fanger opp sjøvannsinntrenging, men også regnvann. Forholdene i brønnen er ustabile over tid. Bevaringsforhold over grunnvannet er dårlige, men medium til god under havnivå (Walpersdorf 2013).

2.2.2.6.44 MB44 (Lodin Lepps gate)

Brønnen ble etablert i 2012, og var en dyp miljøbrønn (Dunlop 2012). De påtrufne kulturlagene hadde usikre bevaringsforhold, og har vært påvirket av masseutskifting i forbindelse med parkeringsbygg i øvre lag. Det ble tatt ut vannkjemiprøver i 2012 og 2015, og jordkjemiprøver fra boringen. MB44 tilhører område E, på sørøstlig del av Bryggen. Generelt ser bevaringsforholdene i sørøstlig område E ut til å være gode i mettet sone, med unntak av MB44, som viser lett oksiderte forhold med tilstedeværelse av nitrat. Bevaringsforholdene ved MB44 er elendig i umettet sone, dårlig i fluktusjonssonen, og medium under grunnvannsnivå. De dypere liggende lagene ser ut til å være noe beskyttet av et finkornet gyttelag, men det later til å være noe sulfatreduksjon på gang i de øvre lagene. Det er høye konsentrasjoner SO₄ i grunnvannet (Walpersdorf 2013),

2.2.2.6.45 MB45 (Mellom Bugården og Bredsgården)

Brønnen ble etablert i 2013, og var en kort brønn på 1,5 m. Det var ikke arkeologiske kulturlag i brønnen. Det foreligger ikke vannkjemiprøver, kun vannstandsmåling (Dunlop 2015a). MB45 tilhører område B, ved spuntveggen.

2.2.2.6.46 MB46 (innenfor spunt, ved Bryggens Museum)

Brønnen ble etablert i 2013 (Dunlop 2015a). MB46 tilhører område B, da den ligger innenfor spuntveggen for å overvåke grunnvannsnivået. MB46 var ment som et supplement til MB40. Det foreligger ikke vannkjemiprøver fra denne brønnen.

2.2.2.6.47 MB47 (ved Schøtstuenes østre hjørne)

Brønnen ble etablert i 2013. Det foreligger ikke vannkjemiprøver, kun vannstandsmåling (Dunlop 2015a). MB47 tilhører område A, og erstattet MB30 som ble fjernet. Denne brønnen overvåker grunnvannsnivå ved ruinen under sørøstre hjørne av Schøtstuen, og er uten arkeologiske kulturlag.

2.2.2.6.48 MB48 (Finnegårdsgaten 1A, Det Hanseatiske Museum); automatisk logging, Aktiv

Brønnen ble etablert i 2014, og er 4 m dyp. MB48 tilhører område E. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2014 og 2015 og jordkjemiprøver (Dunlop 2014, Hollesen & Matthiesen 2015). Det logges grunnvannsnivå og temperatur i brønnene hver time. De øvre lagene er svært organiske, og tidvis over grunnvannsnivå, har dårlig bevaringstilstand, og er utsatt for nedbrytning ved uttørking. Også lagene under grunnvannsnivå er svært utsatt. Nærhet til kaifronten gjør lagene utsatt for nedbrytning på grunn av inntrenging av sjøvann. Temperaturforholdene i lagene tyder på at lagene varmes opp av stående bygg, noe som gjør lagene mer utsatt for nedbrytning, særlig vinterstid (Hollesen & Matthiesen 2011). Stort sett var bevaringstilstanden til kulturlagene dårlig. Temperaturen under Hanseatisk museum har økt betraktelig, på grunn av varme fra nærliggende bygninger. Avsetningene under grunnvannsnivå er svært organiske og utsatt for nedbrytning. Det ser ut til å ha foregått sulfatreduksjon, trolig gjennom tilføring av sjøvann. De øvre lagene er også svært organiske, og tidvis over grunnvannsnivå. Bevaringstilstanden på disse lagene er dårlig, og er sårbare ved uttørking (Matthiesen & Hollesen 2015).

2.2.2.6.49 MB49 (Finnegårdsgaten 1A, Det Hanseatiske Museum); automatisk logging Aktiv

Brønnen ble etablert i 2014, og er 4 m dyp. MB49 tilhører område E. Det foreligger vannkjemiprøver fra 2014 og 2015 og jordkjemiprøver (Dunlop 2014, Hollesen & Matthiesen 2015). Det logges grunnvannsnivå og temperatur i brønnen hver time. De øvre lagene er svært organiske, tidvis over

grunnvannsnivå, har dårlig bevaringstilstand, og er utsatt for nedbrytning ved uttørking. Også lagene under grunnvannsnivå er svært utsatt. Nærhet til kaifronten gjør lagene utsatt for nedbrytning på grunn av inntrenging av sjøvann. Temperaturforholdene i lagene tyder på at lagene varmes opp av stående bygg, noe som gjør lagene mer utsatt for nedbrytning, særlig vinterstid (Hollesen & Matthiesen 2011). Stort sett var bevaringstilstanden til kulturlagene dårlig. Temperaturen under Hanseatisk museum har økt betraktelig, på grunn av varme fra nærliggende bygninger. Avsetningene under grunnvannsnivå er svært organiske og utsatt for nedbrytning. Det ser ut til å ha foregått sulfatreduksjon, trolig gjennom tilføring av sjøvann. De øvre lagene er også svært organiske, og tidvis over grunnvannsnivå. Bevaringstilstanden på disse lagene er dårlig, og er sårbare ved uttørking (Matthiesen & Hollesen 2015).

2.2.2.6.50 FB1 (Bryggens sjøfront, fortau) vannstandsmåler

Multinivå piezometer-brønnen FB1 ble etablert i 2007. Det foreligger vannkjemiprøver (nivå 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0) fra 2008 og 2011, og jordkjemiprøver fra boringen. Det ble ikke tatt prøver fra denne i 2015 (Matthiesen 2008a, Dunlop 2009). FB1 tilhører det sjøvannsutsatte kaiområdet i område C. Etter målingene i 2011 var det så lave saltnivåer i FB1 at den ble flyttet ut av gruppe for sjøvannspåvirkede brønner (Matthiesen 2012). Brønnen ble avviklet i 2015.

2.2.2.6.51 FJB1 (Peterskirkens tomt)

FJB1 er en vannstandsmålingsbrønn med dype sensorer nede i grunnfjellet, og ble etablert i 2011 (Dunlop 2012). Den ligger i område A, og er uten organiske lag, siden den ligger i et område gravd ut på 1920-tallet (Peterkirkens tomt).

2.2.2.6.52 FJB2 (Bryggestredet, i Svensgården); vannstandsmåler, Aktiv

FJB1 er en vannstandsmålingsbrønn med dype sensorer nede i grunnfjellet, og ble etablert i 2013 (Dunlop 2013). Den ligger i område A.

2.2.2.6.53 FJB3 (Enhjørningsgårdens passasje); vannstandsmåler

FJB3 er en vannstandsmålingsbrønn med dype sensorer nede i grunnfjellet, og ble etablert i 2011 (Dunlop 2012, Walpersdorf 2013). Den ligger i område D, og har kulturlag med god bevaring. Fra -2,4 moh er det gode til utmerkede bevaringsforhold, selv om det er dårlig til medium i de øvre lagene (Walpersdorf 2013). Det foreligger vannkjemiprøver fra 2012, og jordkjemiprøver fra boringen. I 2015 ble det ikke tatt prøver fra FJB3. Brønnen ble avviklet i 2015.

Forfatter	År	Tittel	Rapport nr.	Brønn /utgravning
Matthiesen, H.	2002	Ground water composition at building Ve on Bryggen in Bergen.	12027-0001-1	MB1, MB2
Matthiesen, H.	2002	Field work on Bryggen 6th – 8th of November 2002.	10832-0004-1	
Matthiesen, H.	2003	Validation of oxygen measurements in dipwells using automated equipment.	10832-0004-2	
Matthiesen, H.	2004	Composition of soil and ground water below building IVe, Svensgården, Bryggen, Bergen.	12027-0001-2	
Matthiesen, H.	2004	In situ preservation and monitoring of the cultural layers below Bryggen.		
Matthiesen, H.	2004	State of preservation and possible settling of cultural layers below Bredsgården and Bugården tenements, Bryggen, Bergen.	10832-0004-3	MB4, MB5, MB7, MB8. excav. 2002, excav.2003
Matthiesen, H., Dunlop, A.R., Jensen, J.A. & Christensson, A.	2004	Monitoring of cultural deposits below Bryggen in Bergen, Norway.		

Forfatter	År	Tittel	Rapport nr.	Brønn /utgravning
Matthiesen, H.	2005	Composition of soil and groundwater below building Villa Fiskebutikken, Bryggen, Bergen.	12027-0001-3	MB9
Matthiesen, H.	2005	Influence of piling on cultural deposits at Bryggen, Bergen.	10832-0007-1	excav.2004
Matthiesen, H.	2005	Oxygen, water table, and temperature measurements in dipwells around Bryggen in Bergen.	12027-0002-1	MB1, MB2, MB3, MB5, MB6, MB7, MB9
Gregory, D. & Matthiesen, H.	2006	On the use of modern samples to study preservation conditions in the cultural layers below Bryggen in Bergen.	10832-0008	
Matthiesen, H.	2006	Influence of piling on cultural deposits in Bergen, Lund and Copenhagen.	10832-0007-2	
Matthiesen, H.	2006	Composition of soil and groundwater at MB12, 10, 14 and 13, Bryggen, Bergen.	12027-0004	MB10, MB12, MB13, MB14
Matthiesen, H.	2006	Ground water composition at Bryggen in Bergen June 2005 - an evaluation of the use of water samples for monitoring preservation conditions.	12027-0005	All monitoring wells (14)
Matthiesen, H. & Christensson, A.	2006	Overvågning af kulturlag i byerne - den norske model.		
Matthiesen, H., Dunlop, A.R., Jensen, J.A. & Christensson, A.	2006	Monitoring of preservation conditions at WHS Bryggen in Bergen.		
Matthiesen, H.	2007	Preservation conditions above the groundwater level at Bugården, Bryggen in Bergen. Results from MB21 and a testpit from September 2006.	10832-0011-1	MB21, excav.2006
Matthiesen, H.	2007	Detailed chemical analysis of groundwater as a tool for monitoring urban archaeological deposits - results from Bryggen in Bergen.		All monitoring wells (14)
Matthiesen, H., Dunlop, A.R., Jensen, J.A., de Beer, H. & Christensson, A.	2008	Monitoring of preservation conditions and evaluation of decay rates of urban deposits - results from the first five years of monitoring at Bryggen in Bergen.		
Matthiesen, H.	2008	Composition of soil and groundwater in dipwells MB24, 25, 26, 27 and FB1 at the quay front of Bryggen, Bergen.	10832-0014-1	MB24, MB25, MB26, MB27
Matthiesen, H.	2008	Ground water composition at Bryggen in Bergen: Temporal and spatial variation, May 2008.	10832-0015-1	All monitoring wells (28)
Matthiesen, H.	2009	Modelling decay of organic archaeological deposits beneath Bryggen in Bergen, Norway.		All monitoring wells (28)
Matthiesen, H.	2010	Seawater intrusion beneath the quayfront buildings of Bryggen, Bergen: Results from new dipwells MB28 and MB29, and from repeated measurements of chloride and sulphate in quayfront dipwells during 2009.	1829-17	MB28, MB27. Monitoring wells at quayfront (14)

Forfatter	År	Tittel	Rapport nr.	Brønn /utgravning
Matthiesen, H.	2010	Preservation conditions in the area bordering the sheet piling at Bryggen, Bergen: Results from new dipwells MB15, 30, 31, 32 and MB33 installed in 2009.	11031041	MB15, MB30, MB31, MB32, MB33
de Beer, H. & Matthiesen, H.	2011	Overvåkingsplan undergrunnen ved Bryggen i Bergen.	2010	
Matthiesen, H. & Hollesen, J.	2011	Preservation conditions in unsaturated deposits: Reopening of testpit from 2006 and installation of monitoring equipment at the rear of Nordre Bredsgården, Bryggen in Bergen.	11031047	excav.2006, excav.2010
Matthiesen, H.	2011	Preservation conditions at dipwells MB34 and MB35 at Finnegården, Bryggen, Bergen.	11031261	MB34, MB35
Hollesen, J. & Matthiesen, H.	2011	The effect of temperature on the decomposition of urban layers at Bryggen in Bergen.	11031048	
Matthiesen, H.	2012	Ground water composition at Bryggen in Bergen: Temporal and spatial variation, autumn 2011.	11031267	All monitoring wells (40)
de Beer, H., Matthiesen, H. & Christensson, A.	2012	Quantification and visualisation of in situ degradation at the world heritage site Bryggen in Bergen, Norway.		All monitoring wells
Matthiesen, H. & Hollesen, J.	2012	Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Results from continuous logging of oxygen, water content and temperature at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen in the period October 2010 to November 2011.	11031263	excav.2010
Hollesen, J. & Matthiesen, H.	2012	Effects of infiltrating water into organic cultural layers.	11031268	
Walpersdorf, E.	2012	Preservation conditions at dipwells MB38 at Bellgården and MB39 at Bryggestredet, Bryggen, Bergen.	11031266	
Walpersdorf, E., Matthiesen, H. & Vorenhout, M.	2012	Comparison between oxygen concentrations and redox potentials measured at the rear of Nordre Bredsgaarden at Bryggen, Bergen, Norway.	11031267	excav.2010
Matthiesen, H. & Hollesen, J.	2013	Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Results from continuous logging of oxygen, water content and temperature at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen in the period October 2010 to August 2013.	11031561	excav.2010
Mortensen, M.N, Zimsen, R.V & Matthiesen, H.	2013	Oxygen and redox potential measurements related to decay of organic cultural deposits and infiltration of water - a laboratory study.	11031566	
Matthiesen, H., Zimsen, R.V. & Mortensen, M.N.	2013	Measurement of oxygen, nitrate, sulphate and redox potential in microcosms with waterlogged organic cultural deposits.	11074722	

Forfatter	År	Tittel	Rapport nr.	Brønn /utgravning
Matthiesen, H.	2014	Groundwater composition around the sheet piling at Bryggen in Bergen: Effects of mitigation work 2012-14.	11031562	Monitoring wells around sheet piling (17)
Walpersdorf, E.	2014	Preservation conditions at new dipwells installed in 2011-12 near the harbour front (MB36, MB37), Bredsgården (MB41, MB42), Enhjørningsgården (FJB3), at Rosenkrantzgate (MB43) and Lodin Lepps gate (MB44) at Bryggen, Bergen.	11031564	MB36, MB37, MB41, MB42, MB43, MB44, FJB3
Hollesen, J. & Matthiesen, H.	2015	Preservation conditions at dipwells MB48 and MB49 under the Hanseatic Museum, Bryggen, Bergen.	11031128	MB48, MB49
Hollesen, J. & Matthiesen, H.	2015	The influence of soil moisture, temperature, and oxygen on the decay of organic archaeological deposits.		Excav.2010
Matthiesen, H. & Hollesen, J.	2015	Analysis of soil samples from archaeological deposits at Finnegårdsgate 6, Bergen.	11031961	
Matthiesen, H., Hollesen, J., Dunlop, R., Seither, A. & de Beer, H.	2015	In situ measurements of oxygen dynamics in unsaturated archaeological deposits.		Excav.2010
Matthiesen, H., Hollesen, J. & Gregory, D.	2015	Preservation conditions and decay rates.		
Matthiesen, H. & Hollesen, J.	2016	Preservation conditions and effects of mitigation in unsaturated urban deposits: Results from monitoring at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen from October 2010 to May 2016.	53192	
Matthiesen, H.	2016	Groundwater composition at Bryggen in Bergen, November 2015: Spatial variation and effects of mitigation.	53149	All monitoring wells (36)
Matthiesen, H., Hollesen, J., Dunlop, R., Seither, A. & de Beer, H.	2016	Monitoring and mitigation works in unsaturated archaeological deposits.		

Tabell 36: Oversikt over rapporter om miljøovervåking i forbindelse med Grunnvannsprosjektet, fra Nationalmuseet.

2.2.3 Umettet sone og fluktusjonssone

I Bergen har det totalt vært gjennomført overvåking i tre profiler i umettet sone og i fluktusjonssone: en i Vågsbunnen; en på Bryggen bak Nordre Bredsgården; og en bak Øvregaten 19.

2.2.3.1 Profil bak Nordre Bredsgården

I 2018 ble resultatene fra overvåking av profil i umettet sone / fluktusjonssone, fra testgropa bak Nordre Bredsgården (2010–2017), presentert i en samlet rapport (Matthiesen & Hollesen 2018). Testgropa på 2,5 m dybde ble etablert i 2006 og gjenåpnet i 2010 (Dunlop 2007; Matthiesen 2007; 2010; 2012; Matthiesen et al. 2008). I profilen ble det etablert logging av oksygenkonsentrasjon,

vanninnhold og temperatur. I 2010 ble det installert nytt loggerutstyr, hentet ut test-trebitar for analyse, og endringer i kulturlagenes bevaringsgrad ble vurdert (Matthiesen & Hollesen 2011).

Da området bak Nordre Bredsgården ble undersøkt i 2006 var grunnvannet sunket ca. 3 m, og det var setninger i grunnen på ca. 6–8 mm/år (Jensen 2007; Matthiesen 2004). Dette området inngår i «område A; drenerte områder». Umettet sone skulle undersøkes for å se på resultater av senket vannstand. Det ble gravd en testgrop, og etablert to miljøbrønner, MB21 (kort brønn) og MB7. Det ble konkludert med at de velbevarte kulturlagene var i fare for økt nedbryting (Dunlop 2008a). Senket vannstand gir bedre oksygentilgang til kulturlagene. Ved utgravningen i 2006 ble det påvist høye oksygenkonsentrasjoner i den øvre meteren. Ved 1-1,5 m dypde var det et kompakt, finkornet kalklag som hindret oksygen i å sige ned i de dypere lagene. Under dette laget var det nesten ikke oksygen, selv om lagene lå i umettet sone. Målinger på ledningsevne og vanninnhold viste at det var stabile forhold og lite vanngjennomstrømning gjennom kalklaget. Nedbrytningsprosessene foregikk her hovedsakelig i de øvre lagene (Matthiesen 2007).

Løpende målinger av oksygen, vanninnhold og temperatur i grunnen ble presentert i 2012, sammen med en diskusjon om hva som styrer oksygentilgangen og nedbrytingen i grunnen, og virkemidler for å redusere nedbrytningshastigheter. Det var tydelig sammenheng mellom nedbør, vanninnhold og oksygeninnhold i jord. I tørre perioder minsker vanninnholdet og oksygen trenger dypere ned i lagene. Nedbør gir derimot økt vanninnhold og lavere oksygenkonsentrasjoner. Selv om det er noe oksygen oppløst i regnvann, synker oksygeninnholdet i umettet sone ved mye nedbør. I en diskusjon om hvor mye vann som bør tilføres lagene samtidig som forholdene skal være anoksiske, antydes det at det oppstår fritt oksygen i lagene når luftinnholdet når 5–15 % vol. Ved å måle tempoet på oksygennedbrytning i et lag kan man anslå lagets reaktive evne, eller nedbrytningshastighet. I denne profilen ble det ikke målt nedbrytning knyttet til andre stoffer enn oksygen. Resultatene som forelå i 2012 antydet at det er tilgjengelig oksygen i de øvre, grovkornede lagene, og svært lite tilgjengelig i de dype, finkornede lagene under 2 moh. (Matthiesen & Hollesen 2012).

I 2011 startet infiltrasjonsprosjektet oppgaven med å heve grunnvannet på Bryggen. Med dette var det et behov for å kartlegge sammenhengene mellom oksygen, vanninnhold og nedbør, og hvorvidt tilførsel av oksygenrikt nedbørvann øker tilgang på oksygen, samt hvor mye vann trengs for å senke nedbrytningshastigheten. I 2012 ble første år med kontinuerlig logging av oksygen, vanninnhold og temperatur i testgropa. I forbindelse med installasjonen ble det tatt prøver som ble analysert for å kartlegge reaktivitet i jorda ved ulike temperaturer og ulike vanninnhold (Hollesen & Matthiesen 2011). Dataene ble sett i sammenheng med grunnvannsnivåene i MB7 og MB21 ved siden av testgropa (de Beer 2008). Redokssensorer ble installert i 2011, mens det ble overvåket for oksygen, vanninnhold og temperatur fra 2010. I 2010 ble data fra vanninnholdsmålinger gjennomgått for 2006-2010 (Matthiesen 2010a). Da var det en svak nedgang i vanninnhold. Grunnvannsnivået i MB7 er lavt i tørre perioder. Dette kan skyldes uttørring i området, eller naturlige svingninger i nedbørmengde. I 2010-2011 var det periodemessige svingninger i oksygenkonsentrasjonene, bortsett fra i de loggerne hvor det er stabile anoksiske forhold (Matthiesen 2007a; 2012; Matthiesen & Hollesen 2011). Det er en tydelig sammenheng mellom nedbør, vanninnhold, grunnvannsnivå og oksygeninnhold. Lagenes ulike kvaliteter bestemmer hvor raskt nedbør trenger ned gjennom lagene. Når lagene blir tørre nok, beveger oksygen seg raskere, fordi diffusjonen gjennom jorda er raskere enn oksygenopptaket i jorda. Det ble observert at ved nedbør øker jordfuktighet og oksygendiffusjon i jorda går saktere, noe som er viktigere for mengden oksygenopptak enn mengden oksygen som er oppløst i og tilføres gjennom regnvann. Det er oksygensensorer på 10 nivåer (Matthiesen & Hollesen 2012).

2.2.3.1.1 Måledata

Periode	Nedbør	Grunn- vannsnivå	Fuktighet A 3,92 moh.	Fuktighet B 3,09 moh.	Fuktighet C 2,77 moh.	Fuktighet D 2,37 moh.	Fuktighet E 2 moh.
	Mm / år	Moh.	% vol	% vol	% vol	% vol	% vol
2011	2685	1.63 ± 0.32	26.4 ± 3.7	54.7 ± 3.2	67.9 ± 0.9	41.9 ± 5.0	67.3 ± 0.6

2012	2592	1.69 ± 0.29	25.7 ± 4.5	56.2 ± 4.6	69.0 ± 0.8	42.6 ± 5.4	68.1 ± 0.6
2013	2469	1.90 ± 0.29	22.7 ± 6.7	54.8 ± 3.6	68.7 ± 1.1	43.8 ± 4.9	68.7 ± 0.6
2014	2357	2.24 ± 0.23	24.7 ± 4.6		68.9 ± 0.7	45.2 ± 3.7	69.0 ± 0.6
2015	2570	2.18 ± 0.26	26.5 ± 3.5		68.9 ± 0.7	43.7 ± 3.4	69.9 ± 0.5
2016	2456	1.79 ± 0.38	25.5 ± 5.7		67.8 ± 1.2		70.2 ± 0.5
2017	3092	2.14 ± 0.24	26.8 ± 3.3		68.6 ± 0.8		71.4 ± 0.2

Tabell 37 : Sammenstilling av måledata for perioden 2011–2017.

Oksygensensorene har vært stabile gjennom hele overvåkingsperioden. Oksygenivåene henger tett sammen med jordfuktighet og nedbør, og viser tydelige periodevise svingninger.

År	3,92 moh. % sat	3,68 moh. % sat	3,46 moh. % sat	3,31 moh. % sat	3,21 moh. % sat	3,06 moh. % sat	2,77 moh. % sat	2,50 moh. % sat	2,31 moh. % sat	2 moh. % sat
2011	85.6±7.7	38.5±16.6	0.0±0.0	0.0±0.0	20.7±12.7	0.6±2.1	0.0±0.0	0.4±1.0	1.0±3.4	0.0±0.0
2012	86.3±5.9	45.3±21.9	0.5±2.5	2.3±6.5	20.3±14.3	0.7±2.4	0.0±0.0	0.0±0.4	0.3±1.2	0.0±0.0
2013	89.5±4.6	45.3±21.9	10.1±20.5	8.6±17.1	23.4±17.4	2.5±6.0	0.1±0.7	0.3±0.9	1.4±4.1	0.0±0.0
2014	90.4±3.7	44.1±19.2	6.5±13.2	1.9±7.3	17.8±19.4	1.2±3.9	0.0±0.0	0.2±0.8	0.2±0.0	0.0±0.0
2015	88.5±3.9	41.1±15.1	2.6±6.5	0.0±0.0	20.3±15.5	0.1±0.2	0.0±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	0.0±0.0
2016	90.3±5.4	52.7±20.9	13.2±18.8	3.7±8.0	27.7±18.3	2.0±4.4	0.0±0.0	0.3±0.7	1.0±3.4	0.0±0.0
2017	89.4±4.5	39.8±16.9	4.9±12.0	0.1±0.7	20.1±15.2	0.3±0.8	0.0±0.0	0.1±0.0	0.2±0.1	0.0±0.0

Tabell 38: Sammenstilling av måledata for perioden 2011–2017.

Årlig gjennomsnittstemperatur ligger mellom 7,2–9,8°C for de ulike sensorene, hvilket er ganske akseptabelt.

År	Luft °C	4,12 moh. °C	3,92 moh. °C	3,68 moh. °C	3,46 moh. °C	3,21 moh. °C	3,06 moh. °C	2,77 moh. °C	2,50 moh. °C	2,31 moh. °C
2011	8.8±5.4	10.2±4.3	9.8±4.2	10.1±3.8	10.9±3.5	9.9±3.3	9.8±3.3	9.6±3.0	9.4±2.8	9.3±2.7
2012	7.9±5.6	7.8±5.3	7.6±5.2	8.1±4.6	8.1±4.2	8.2±3.8	8.2±3.7	8.4±3.1	8.4±2.7	8.5±2.6
2013	7.9±6.3	7.5±5.9	7.2±5.9	7.6±5.3	7.6±4.9	7.7±4.5	7.7±4.5	7.8±3.8	7.8±3.4	7.8±3.3
2014	9.3±6.4	9.5±5.5	9.2±5.4	9.6±4.8	9.7±4.5	9.7±4.1	9.6±4.1	9.8±3.6	9.7±3.2	9.7±3.1
2015	9.0±4.7	8.7±4.9	8.2±4.8	8.6±4.3	8.8±4.1	8.7±3.7	8.6±3.7	8.9±3.3	8.7±2.9	8.7±2.7
2016	8.6±5.9	9.0±5.9	8.2±5.7	8.6±5.1	9.1±4.9	8.7±4.3	8.7±4.2	9.3±3.8	8.8±3.3	8.8±3.1
2017	8.7±5.2	9.2±5.4	8.4±5.1	8.9±4.6	9.4±4.4	9.0±3.9	9.0±3.8	9.6±3.4	9.1±2.9	9.1±2.8

Tabell 39: Sammenstilling av måledata for perioden 2011–2017.

2.2.3.1.2 Resultater

Før heving av grunnvannsnivå på Bryggen, i Grunnvannsprosjektet, var det oksygen i den øverste 1 m og tidvis også lenger ned, i testgrova. Etter grunnvannshevingen var det ikke sporbart oksygen under 1 m fra mai 2014 til desember 2015, men problemer med infiltrasjonspumpene gav en periode med

økt oksygentilgang i de dypere lagene i 2016. I den øverste 1 m i testgropa har forholdene variert mer, men også de øvre lagene har hatt god nytte av hevingen av grunnvannsstanden. Variasjoner i grunnvannsstanden har vist seg å relativt raskt gi utslag i måledata og bevaringsforhold i den overvåkede profilen. Oksygensensorene i profilen har gitt stabile måledata, men noen av loggerne for vannstand har sluttet å virke. Resultatene fra overvåking i profil I umettet sone har vært sammenlignet mot vannstandsmålinger i MB21. Denne brønnen ligger tett på profilen i testgropa, under 1 m fra loggerne. Det logges data hver halvtime, og regnes ut dagsgjennomsnitt basert på disse. I perioden oktober 2010 til juli 2012 kunne kun et begrenset antall oksygensensorer lese av gangen, og de ble koblet opp og avlest skiftevis. Fra juli 2012 ble loggeren oppdatert slik at alle data kunne leses av samtidig. I 2017 var alle oksygen- og temperaturlogger operative, men kun 3 av vannstandsmålerne virket fortsatt. Mediantemperaturen er omtrent det samme i alle lag, men temperaturvariasjonene er størst i de øvre jordlagene. Oksygenkonsentrasjonene synker med dybden, og vanninnhold øker i dybden. Vanninnhold må sees i forhold til kulturlagenes porøsitet. Filteret i MB21 er på dybde 0,61–1,61 moh., og ligger dypere enn sondene som måler vanninnhold i profilvegg. Grunnvannsnivå i MB21 har ligget på opp til 2,5 moh., med topp på 2,7 moh. – høyere enn laveste vanninnholdssensorer i profilvegg (2,0 moh. og 2,37 moh.). Markoverflate er på 4,1–4,2 moh. Porøsiteten målt ved sensor A var 39 %, B var 69 %, C var 71 %, D var 47 %, og E var 80 %.

Nedbrytning har vist seg å foregå raskest i lagene 3,0–3,5 moh., og tidvis i dypere lag. Oksygen forekommer i lagene om luftmetningen er 5–15 % vol. Det er tett sammenheng mellom oksygentilførsel, vannmetning og nedbørnivå. Grunnvannsprosjektet har derfor fokusert på å heve grunnvannsnivået, for å gjøre lagene mer vannmettet, og gi mindre rom for oksygentilførsel. Vinterstid er det høyere oksygenkonsentrasjoner i topplagene, og mindre sommerstid. Dette er fordi oksygenopptak i jordlagene avhenger av temperatur. Ved høyere temperatur øker oksygenopptaket i jordlagene. Temperatursvingninger kan forklare sesongmessige variasjoner i oksygentilgang i jordlagene, mens vannmetning forklarer kortere svingninger i oksygenivå. Kun i lengre tørkeperioder trenger det oksygen ned i lagene dypere enn 1 m under overflaten, mens nivåene i øvre lag svinger en del.

Ved første åpning av testgropen i 2006 ble det plassert ut furufiliser i 5 ulike lag, for å se på nedbrytningshastigheten. Disse ble hentet ut og undersøkt i 2010. Da viste det seg at ved 3,27, 3,04 and 2,43 moh. var det nedbrytning med bakterier og råte, noe som krever tilstedeværelse av oksygen. Ved 2,81 and 1,98 moh. var det kun nedbrytning med bakterier, noe som ikke krever oksygen (Matthiesen & Hollesen 2011).

I perioden 2014–2017 er det en betraktelig økning i grunnvannsnivå målt i MB21, fra 1.63 ± 0.32 moh. – 2.14 ± 0.24 moh. Dette er resultat av Grunnvannsprosjektets økning av grunnvannsnivå. De dypeste sensorene har vist en tydelig økning i fuktighetsnivå fra 2011–2017. Oksygenivået har sunket i samme periode. Grunnvannsnivået er hevet til et tilfredsstillende nivå. På grunn av at flere sensorer har gått i stykker over den lange måletiden er det vanskelig å trekke konklusjoner basert på vannmetning. Men oksygenivå viser at de dypere liggende lagene er anoksiske, og at de øvre lagene har hovedsakelig synkende oksygenivåer (Matthiesen & Hollesen 2018; 2013; 2011; Matthiesen 2007).

Testgropa eller prøvehullet her har vært og er stadig svært vesentlig for vurdering av risiko for nedbrytning i kulturlagene på Bryggen, særlig de mest sårbare i umettet sone, over grunnvannstand. Målingene her bidrar også med vesentlig informasjon i forhold til tolkning av måledata fra de omkringliggende miljøbrønnene.

2.2.3.2 Øvregaten 19

I 2013 ble det boret fem punkter ved Øvregaten 19 (Dunlop 2017). Jordkjemiprøvene viste gjennomgående dårlige bevaringsforhold. Temperaturen lå relativt lavt, redoksforholdene lå rundt

(+600) – (-190) mV, pH lå rundt nøytral (6,8–7,1), ledningsevnen var lav (60–500) og lagene var organiske med høyt vanninnhold. Det ble igangsatt miljøovervåking i en profilvegg, med 4 sensorer for jordtemperatur og fuktighet i ulike lag, og 3 sensorer for å overvåke redokspotensial i 3 fuktige kulturlag. Vanninnholdet i profilen lå mellom 60–70 % i jordprøvene (se Tabell 39).

2.2.3.2.1 Måledata

Profil	Periode	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm -1	Redoks mV	Vanninnhold %
Lag 1–4	2013, jan.-feb.	0–6	6,8–7,1	60–500 Jordprøver	(-200)–(250)	40–60
Lag 1–4	2013–2014	0–15 Gj.sn: 9,6			(-359)–(+450) (lag 2 og 3) Gj.sn: (-9)–(-500) (-100) (lag 4)	70–75 (lag 1–3) 44 (lag 3)
Lag 1 12,3 moh.	2013–2014	-0,5–14,5 Gj.sn: 9,2 Median 10,4				20–100 Gj.sn: 75 Median 78
Lag 2 12,2 moh.	2013–2014	0,1–15,1 Gj.sn: 9,6 Median 9,7			82–751, Gj.sn: 455 Median 443	43–100 Gj.sn: 70 Median 68
Lag 3 12,0 moh.	2013–2014	1,7–14,6 Gj.sn: 9,6 Median 9,7			30–747 Gj.sn: 346 Median 346	39–66 Gj.sn: 44 Median 44
Lag 4 11,8 moh.	2013–2014	1,6–14,4 Gj.sn: 9,6, Median 9,6			(-513)–(-9), Gj.sn: -102 Median -112	51–100 Gj.sn: 70 Median 70
Lag 1	2013, 2014					
Lag 2	2013, 2013, 2014	7,2–18,4 Gj.sn: 12,1 Median 11,9			82–751 Gj.sn: 458 Median 448	66–100 Gj.sn: 89 Median 91
Lag 3	2014-2015	5,7–17,2 Gj.sn: 12,4 Median 12,2			30–771 Gj.sn: 414 Median 517	42–68 Gj.sn: 50 Median 49
Lag 4	2014-2015	5,7–17,3, Gj.sn: 11,8 Median 11,4			-187–8 Gj.sn: -58 Median -27	61–100 Gj.sn: 81 Median 81
Lag 1	2015					
Lag 2	2015	7,4–19,3 Gj.sn: 14 Median 14,2			(-408)–(-397) Gj.sn: -405 Median: -406	69–100 Gj.sn: 99 Median 100
Lag 3	2015	9–18 Gj.sn: 14,2 Median 13,7			(-349)–(-247) Gj.sn: -311 Median -324,	46–77 Gj.sn: 52 Median 51
Lag 4	2015	6,9–16,5 Gj.sn: 13,5 Median 13,2			-25–3, Gj.sn: -311 Median -10	69–100 Gj.sn: 86 Median 86
Lag 2	2016	13,7–27,8 Gj.sn: 22,1 Median 22,1			(-391)–(-369) Gj.sn: -384 Median -385	69–100 Gj.sn: 93 Median 97
Lag 3	2016	11,2–19 Gj.sn: 15,4 Median 15			(-180)–(-43) Gj.sn: -124 Median -133	8–74 Gj.sn: 48 Median 48
Lag 4	2016	9,7–21,3 Gj.sn: 14,9 Median 13			163–187 Gj.sn: 172 Median 169	62–100 Gj.sn: 80 Median 80
Lag 2	2017	18,5–27,4 Gj.sn: 22 Median 21,6			(-373)–(-362) Gj.sn: -368 Median -368	77–100 Gj.sn: 96 Median 100
Lag 3	2017	12,3–17,1 Gj.sn: 14,8 Median 14,7			(-73)–(-25) Gj.sn: -57 Median -66	12–55 Gj.sn: 46 Median 49
Lag 4	2017				177–186 Gj.sn: 181	

Profil	Periode	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mScm -1	Redoks mV	Vanninnhold %
					Median 182	

Tabell 40: Sammenstilling av måledata fra 2013–2017.

2.2.3.2.2 Avvik

Etter det første året med overvåking ble sensor 4, som målte vannmetning og temperatur i lag 1, ustabil og etter hvert ødelagt (2014). I 2015 ble det rapportert at redoks-sensorene 2 og 3 gav upålitelige data. I 2015 målte sensorene i lag 2, 3 og 4 lavt redokspotensialitet. Dette korresponderte med perioder med mye nedbør i 2014–2015, noe som har blitt tolket dithen at målingene likevel var pålitelige. Disse sensorene stabiliserte seg på det samme nivået i 2016 og 2017. Generelt er det høy vannmetning i lagene. Sensor 1, som målte temperatur og fuktighet i det nederste laget, lag 4, gikk i stykker i august 2016. Sensoren som målte fuktighet i lag 3 gikk i stykker i februar 2017.

2.2.3.2.3 Resultater

Sensorene ble installert i en profil i januar 2013, og første måneds resultater foreligger i installasjonsrapporten. Jordtemperaturen lå mellom 0-6 grader, med mer svingninger i takt med utetemperatur i de to øvre lagene. Vanninnholdet var høyt i lag 1, 2 og 4 (60 %) og lavere i lag 3 (40 %). I nedbørrike perioder økte vanninnholdet til 100 %. Redokspotensialet lå mellom -250 og +250 mV, hvilket indikerer stabile forhold. Lag 2 og 3 var mer porøse og hadde høyere redokspotensiale, mens det nederste laget, under et brannlag, hadde lavest redokspotensiale. I de nedre lagene var det anoksiske, sulfatreduserende forhold (Bergersen 2013b).

Temperatur lå mellom 0 -15 grader. Jordtemperaturen varierte fra 0 grader vinterstid, til 15 grader sommerstid, med et gjennomsnitt rundt 9,6 grader. Vanninnholdet var høyt og lå på 70–75 % i lag 1, 2 og 4, men bare 44 % i lag 3. Det var store fluktuasjoner i vanninnhold med nedbørsperiodene (Bergersen 2014a). Andre års overvåking, 2014–2015, har vist minimumstemperatur 0–2 grader om vinter og 14 grader om sommer: I 2014 steg minimumstemperatur til 6–7 grader, og maksimum til 17–18 grader, mediantemperatur steg med 1 grad. Fluktuasjonen økte i 2014. Gjennomsnittstemperatur steg til 12 grader i 2014, og medianverdi steg til 12 grader i 2014. Regnvann har mistet oksygen før det når ned i det dypeste laget. Vanninnholdet i lag 2 og 4 har økt til 80 % og 50 % i lag 3 (Bergersen 2015a). I 2015 viste minimumstemperaturen 7–9 grader og maksimum 16–19 grader; median og gjennomsnittstemperatur steg til 14 grader, fra 11 i 2013. Alle lag hadde høy fuktighet, og fluktuerte med nedbørsgrad. Fluktuasjonene økte i 2015. Jordfuktigheten er høy (80–99 %) i lag 1, 2 og 4 og 50 % i lag 3. Økt nedbør i 2014 og 2015 førte til økt gjennomsnittsfuktighet og store fluktuasjoner. Dette påvirket redoksforholdene fra 2014 til 2015. Infiltrasjon fra takvann har senket redoksforholdene de siste to årene (Bergersen 2016a).

I 2017 ble det skrevet avsluttende rapport etter fem års miljøovervåking, for perioden januar 2013–august 2017 (Bergersen 2017). Da overvåking startet lå gjennomsnittstemperatur på ca. 10°C, minimumstemperaturen vinterstid på 0–2°C og maksimumstemperatur sommerstid på 14°C. I 2014 var gjennomsnittstemperaturen oppe i 12–13°C, minimumstemperaturen steget til 6–7°C og maksimum lå på 17–18°C. I 2015 lå gjennomsnittstemperaturen på 14 °C, minimum på 7–9 °C og maksimum på 16–19°C. Gjennomsnitts- og mediantemperaturer i 2016 og 2017 økte til 22°C i de øvre lagene og lå stabilt rundt 14°C i de dypere lagene. Maksimumstemperaturen var oppe i 27°C. Den høye temperaturen i topplagene var høyere enn gjennomsnittlig lufttemperatur, noe som trolig skyldes nybygg med oppvarmet kjeller og varmekabler under brosteinslegging. Lagene hadde høy vannmetning, som fluktuerte med nedbørsmengden. Temperatur i 2014 og 2015 fluktuerte også med nedbørsmengdene. Høy vannmetning, med tilsig fra nedbør og infiltrasjon av takvann bidro til å senke redokspotensialet til mer anoksiske forhold, noe som er positivt for de arkeologiske kulturlagene.

De første statusrapportene presenterte for lave redoksverdier (Bergersen 2014a & 2015). I avsluttende rapport (Bergersen 2017) ble alle verdier for redokspotensiale rekalkulert. Det laveste redokspotensialet ble målt i lag 2 og 3. Det første året var redokspotensialet i nederste lag, lag 4, også

negativt. Fra 2013 til 2014 ble det målt redoksvariasjoner over svært små avstander (40 cm) i profilen (Bergersen 2015a). Dette ble tolket dithen at redokssensorene gav feilmålinger, med et sterkt fall i måleverdiene i 2014 ved sensor 2 og 3. Gjennomsnittlige redoksverdier fra 2013 til 2017 varierte fra (+750) til (-368) mV i lag 2. I lag 3 var spennet fra +591 til -63 mV. I lag 4 begynte målingene ved -2 mV og steg til +181mV. Fra 2015 til 2017 viste redokssensorene mer stabile forhold med median- og gjennomsnittsverdier ved (-399) – (-368) mV i lag 2, (-268) – (-63) mV i lag 3 og (+155) – (+181) mV i lag 4. Redoksverdier under +200mV har vist lavt oksygeninnhold i miljøbrønner i Bergen (Bergersen, 2014b).

I statusrapport II (Bergersen 2015a) ble det antatt at redokssensorene i lag 2 og 3 gav feilmålinger, fordi kurven falt så bratt i 2014. Gjennom resten av måleperioden viste disse sensorene stabile anoksiske forhold og negative verdier mellom (-400) og (-60) mV i lag 2 og 3, og positive verdier under (+200) mV. Dette viste at det var lite oksygen tilgjengelig i lagene. Men selv om det var høy vannmetning og anoksiske forhold i lagene, kan den sterke økningen i jordtemperatur gi en signifikant økning i nedbrytningshastigheten for organisk materiale, uavhengig av hvorvidt oksygen er tilgjengelig. Studier fra Bryggen har tidligere vist at en temperaturøkning på 10-15°C vil akselerere nedbrytningshastigheten for organisk materiale drastisk, og særlig om det er tilgjengelig oksygen (Hollesen & Matthiesen 2011).

Det var gjennomgående høy vannmetning i lagene. I lag 2 viste sensor gjennomsnittlig 93% i 2016 og 95 % i 2017. I lag 4 lå fuktigheten på 80% i 2016, før sensoren gikk i stykker. Resultatene etter de tre første års overvåking viste at forholdene i de øvre lagene virker positivt for de arkeologiske organiske lagene. Vannmetningsgraden økte til 99 % og 86 % i lag 2 og 4, og 50 % i lag 3, på grunn av infiltrasjon av store nedbørsmengder. Ved slutten av måleperioden var vanninnholds nivåene fortsatt høye og stabile. Originalt var vanninnholdet i profilen relativt lav, med variasjoner mellom 50 % og 75 %. Alle lagene er har medium til høyt organisk innhold som kan absorbere og lagre vann, noe som bidrar til å holde redoksforholdene lave og sikre anoksiske forhold. Dette gjelder også lag 3, som hadde lavere innhold av organisk materiale, og lavere vanninnhold, men likevel hadde anoksiske forhold i 2017 (Bergersen, Nytrø og Johansen 2017).

Målinger her viser hvor viktig infiltrasjon av nedbørsvann kan være for å stabilisere eller til og med bedre bevaringsforholdene. Dessverre har akkurat dette prosjektet også vært preget av stor utstyrssvikt. Det understreker betydningen av hvor viktig det er å velge rett utstyr, og at det absolutt lønner seg hellere å installere for mange sensorer enn for få, fordi man da vil kunne ha back-up muligheter. Man kan ikke gjenoppgrave profil for å erstatte sviktende utstyr, men et par ekstra sensorer vil kunne sikre at man uansett får ut nødvendig informasjon.

2.2.4 Samlet oppsummering for Bergen

Kulturlagsovervåking i miljøbrønner i Bryggen i Bergen har akkumulert store datasett. Resultatene fra Grunnvannsprosjektet fram til 2016 er i stor grad rapportert i Rytter & Schonhowd 2015 og Matthiesen 2016. Det har resultert i mye god forskning og metodeutvikling, eksempelvis test av målefrekvens som anses for nødvendig for å kunne få presis overvåking uten å bli overveldet av data, sammenligning av opplysninger fra oksygensonder og redokssonder, mv. I Bryggen MOV-prosjektet følges utvalgte punkter opp for å kunne bidra til ivaretagelse av verdensarvstedet (Dunlop et al. 2021).

Ettersom verdensarvstedet Bryggen har blitt behandlet for seg, som en enhet, blir resten av middelalderbyen tatt for seg, og definert i hovedsak som Vågsbunnen. For hele byen er det viktig å huske på at det fortsatt er en del overvåking og vedlikehold som pågår på Bryggen, og det er også MOV prosjekter som løper i Vågsbunnen. Det kan være ønskelig å supplere det ene overvåkingspunktet i profil på Bryggen med ytterligere et punkt, fortrinnsvis mot midten av verdensarvstedet, da det installerte utstyret på det første nærmer seg holdbarhetsgrensen. Det er også bare et overvåket profil i Vågsbunnen, og det ligger for langt ifra Bryggen til at kunne ha direkte

overføringsverdi. Bergen er dog fortsatt den av middelalderbyene som har best innsyn i og kontroll over bevaringsforholdene.

2.3 Oslo

I Middelalderbyen Oslo har det i perioden 2010–2021 vært elleve aktive miljøbrønner, samt to målepunkter med sensorer installert i profil (se Figur 6). Per 2021 er 4 av 5 prosjekter avsluttet, og Follobanen MOV er det eneste prosjektet med løpende måleserier (se Tabell 41). Det er uvisst om det i noen av brønnene fremdeles finnes aktivt måleutstyr. Miljøovervåkningsprosjekter i Oslo fram til 2010 er gjennomgått og presentert samlet i Petersén og Martens oversiktsrapport fra 2011 (Petersén & Martens 2011).

NIKU prosjektnr.	RA saksnr.	Gateadresse / prosjektnavn	Miljøbrønn/ -profil	Status	MOV periode
1563058	06/02802	Peleprosjektet	Oslo gate 6, Sørenga	Avsluttet	2010–2012
1563110	08/00510 08/02743	Midgardsormen	MB6, MB9, MB14, S7	Avsluttet	2010–2013
20150/20106	09/02875	DEG-prosjektet	MB3, MB4, MB5, MB7, MB8	Avsluttet	2010–2018
1020061	06/00635-834	Follobanen MOV	Profil 1 Arkeologigropa, Profil 2 Saxegaardsgt	Åpent	2016–2023

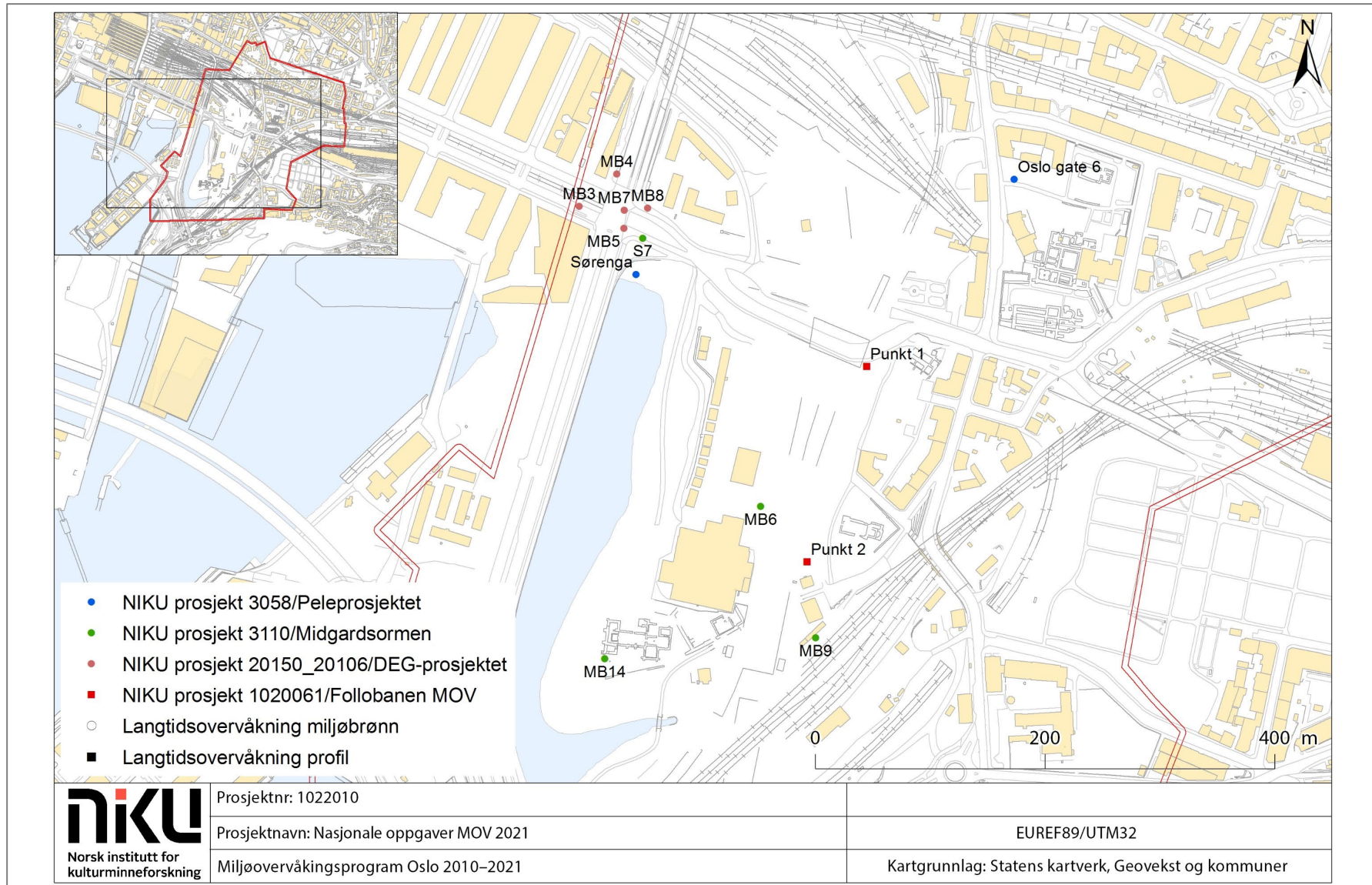
Tabell 41: Miljøovervåkningsprogrammer i Oslo perioden 2010–2021.

2.3.1 Peleprosjektet

Som en del av Riksantikvarens peleprosjekt, ble det i 2010 instrumentert to miljøbrønner, en i Oslo gate 6 og en på Sørenga (NIKU prosjektnummer 1563058) (se Figur 6). Brønnene ble boret i 2008. Måleserien løp over to år, og ble rapportert i en statusrapport som oppsummerer perioden 2010–2012 (Bergersen og Nytrø 2012) (se Tabell 42). Prosjektet var inkludert i Petersén og Martens oversiktsrapport fra 2011. Prosjektet var også en del av en sammenfatning av erfaring fra ulike miljøovervåkningsprosjekter i Oslo, på oppdrag fra Riksantikvaren (Bye Johansen 2012).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O., Hartnik, T. & Molaug, P.	2009	NIKU rapport 7/2009 Bioforsk Rapport Vol. 4 Nr. 8, 2009	Bevaringstilstand og bevaringsforhold i kulturlag fra Oslo gt 6 og Sørenga.	Arkeologisk og jordfaglig vurdering
Johansen, Lise-Marie Bye	2010a	NIKU Oppdragsrapport 92/2010	Nedsetting av kummer og logger til miljøbrønner i Gamlebyen i Oslo. Oslo gate 6 og Sørenga.	Arkeologisk overvåking
Bergersen, O. & T. E. Nytrø	2012	Bioforsk Rapport Vol. 7 Nr. 74, 2012	Overvåking av miljøbrønner i arkeologiske kulturlag fra Oslo gt. 6, Sørenga, S7 og Middelalderparken i Oslo. Statusrapport mai 2010 til mai 2012.	Statusrapport

Tabell 42: Rapporter fra Peleprosjektet.



Figur 6: Kart over miljøovervåkingsprogrammer i Middeltalderbyen Oslo. Kart: NIKU.

2.3.1.1 Måledata

I de to instrumenterte miljøbrønnene, Oslo gate 6 og Sørenga, ble det overvåket grunnvannsstand, pH, temperatur, ledningsevne, redoksforhold og saltinnhold (se Tabell 43). Leverandør av MOV-tjenester var Bioforsk.

Brønn	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Ledningsevne mS cm ⁻¹	Redoks mV	Saltinnhold SAL
Oslo gate 6	Umettet Stabilt Min 2,0–max 4,7. Gj.sn: 3,2	Min 7,5–max 8,8. Gj.sn: 8,4	Min 5,5–max 6,7. Gj.sn: 6,0	Min 0,4–max 3,8. Gj.sn: 2,3	Min -442–max -148. Gj.sn: -383	Min 0,2–max 1,9. Gj.sn: 1,1
Sørenga	Mettet Stabilt Min 2,0–max 2,4. Gj.sn: 2,2	Min 7,1–max 11,7. Gj.sn: 10,5	Min 6,3–max 7,0. Gj.sn: 6,7	Min 2,2–max 23,0. Gj.sn: 12,6	Min -459–max -232. Gj.sn: -432	Min 1,1–max 13,4. Gj.sn: 6,9

Tabell 43: Sammenstilling av måledata fra 2010–2012 (Bergersen & Nytrø 2012).

2.3.1.2 Avvik

Etter et møte med Riksantikvaren og NIKU våren 2011 ble det klargjort at vannanalyser som er tid- og kostnadskrevende kan erstattes med multisensorer som overvåker grunnvann, temperatur, ledningsevne, redoksforhold og pH i grunnvannet. Slikt utstyr vil karakterisere både stabilitet, men også bevaringsforholdene til kulturlagene som kan påvirkes av grunnvannet i området. Det er nå satt ned slike multisensorer i Miljøbrønnene Oslo gate 6 og Sørenga.

Siden alt utstyret plassert i Oslo er satt ned under bakken, har all kommunikasjon via modem fungert veldig dårlig. Nesten all info er hentet manuelt fra loggerne og det har gitt en del utfordringer spesielt vinterstid. Et annet problem er restriksjoner i tilgjengelighet i Bjørvika. Miljøovervåking i grunnvannsbrønner må være tilgjengelig i fremtiden slik at data kan overføres trådløst, men også for at kalibrering og vedlikehold av sonder kan realiseres. Manglende mulighet for vedlikehold og kalibrering har medført at datasettene ikke er helt fullstendige.

2.3.1.3 Resultater

Prosjektet og måledataene fra miljøbrønnen Oslo gate 6 og Sørenga ble sist rapportert i 2012, hvor resultater fra perioden mai 2011 til mai 2012 ble oppsummert og redegjort for (Bergersen og Nytrø 2012). I miljøbrønnen ved Sørenga, viste målinger av grunnvann stabilitet i hele måleperioden fra 2010 til 2011. I Oslo gate 6, hvor miljøbrønnen stod i skrått terreng og hvor flere av kulturlagene ligger i mettet og umettet sone, viste imidlertid målingene tydelig at grunnvannet fluktuerte med nedbøren.

Det samme ble observert for målinger av redoks i de to brønnene. Redoksforholdene viste gode utsikter for Sørenga, men svingte mer i Oslo gate 6. Dette skyldes i hovedsak påvirkning av store nedbørsmengder i 2011. Det ble påpekt av Bioforsk at målinger under 0 mV og nedover likevel tydet på gode bevaringsforhold for de kulturlag som var omkranset og påvirket av grunnvannet ved Oslo gate 6 under 2 meter. Svingninger ble også observert på pH-verdier i grunnvannet, hvor surheten hadde økt og ga lavere pH jevnt ut året.

Innhenting av nye data i 2012 og kontroll av utstyret og analyser på grunnvannet var planlagt målt ekstra i nærmeste tid. For lite vann medførte derimot at pH og ledningsevne ikke lot seg måle i Oslo gate 6. Målinger av vannprøve fra Sørenga stemte både på pH og temperatur. Vannet luktet sterkt sulfid som lav redoksverdi indikerer. Ledningsevne og saltinnhold (SAL) viste store svingninger i starten av måleperioden med nye sensorer ved Sørenga. I Oslo gate 6 var det stabile forhold målt i salt- eller ion-innhold. Det påpekes at brønnen på Sørenga er sterkt påvirket av sjøvann, noe som kan forklare den høye elektriske ledningsevnen og saltinnhold-verdiene.

Her har vi sett utfordringer i manglende tilgjengelighet av overvåkingspunkter, men også at automatisk overvåking/ instrumentering koblet til datalogger git langt bedre og mere komplett informasjon om bevaringsforhold enn gjentatt prøvetaking. Det har vært en utfordring med mobilkontakt når dataloggere må oppbevares i kummer under bakken fremfor i skap over. Det anbefales at man i

fremtiden forsøker i størst mulig grad å sikre at dataloggere kan plasseres i skap over bakken og at overvåkingspunkt tinglyses for å sikre tilgjengelighet, uansett om bygninger eller arealer bytter eier.

2.3.2 Midgardsormen

I forbindelse med fremføringen av Midgardsormen hovedavløpssystem i Gamlebyen (NIKU prosjektnummer 1563110), ble det etablert tre miljøbrønner i Middelalderparken (MB6, MB9 og MB14) og en nordøst for krysset mellom Dronning Eufemias gate og Kong Haakons gate (S7) (se Figur 6). Brønnene ble boret i 2009. Måleserien løp over tre år, fra 2010–2013 (Martens & Bergersen 2014). Prosjektet var inkludert i Petersén og Martens oversiktsrapport fra 2011. Prosjektet var også en del av en sammenfatning av erfaring fra ulike miljøovervåkingsprosjekter i Oslo, på oppdrag fra Riksantikvaren (Bye Johansen 2012).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bye Johansen, L.-M., Martens, V. V., Bergersen, O. & Hartnik, T.	2009	NIKU Rapport 102/2009 Bioforsk Rapport Vol. 4 Nr. 186, 2009	Grunnundersøkelse i forbindelse med bygging av ny avløpsledning under Middelalderparken og Sørenga. Arkeologisk og jordfaglig undersøkelse i miljøbrønner.	Arkeologisk og jordfaglig vurdering
Johansen, Lise-Marie Bye	2010b	NIKU Oppdragsrapport nr. 93/2010	Nedsetting av kummer og logger til miljøbrønner i Gamlebyen i Oslo. Midgardsormprosjektet.	Arkeologisk overvåking
Bergersen, O. & Amundsen, C., E.	2011	Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 67, 2011	Overvåking av grunnvann i Middelalderparken, Oslo. Resultater fra 2010–2011.	Grunnvanns-overvåking
Bergersen, O. & T. E. Nytrø	2012	Bioforsk Rapport Vol. 7 Nr. 74, 2012	Overvåking av miljøbrønner i arkeologiske kulturlag fra Oslo gt. 6, Sørenga, S7 og Middelalderparken i Oslo. Statusrapport mai 2010 til mai 2012.	Statusrapport
Martens, V. V. & Bergersen, O.	2014	NIKU Oppdragsrapport 79/2014 Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 23, 2014	Midgardsormen. Overvåking av grunnvann fra miljøbrønner i arkeologiske kulturlag i Middelalderparken, Oslo. Sluttrapport.	Sluttrapport

Tabell 44: Rapporter fra Midgardsormprosjektet.

2.3.2.1 Bakgrunn

Ved borepunktene MB6, MB9 og MB14, ble det i 2009 gjennomført en forundersøkelse (NIKU prosjektnummer 1563058) med boring og dokumentasjon av boresøyler og jordkjemiprøver (Bye Johansen et al. 2009). De undersøkte kulturlagene viste for MB6 stabile og gode bevaringsforhold i alle lag, mens det for MB9 og MB14 generelt var dårlige bevaringsforhold. Et unntak var lag som lå dypere enn 3 meter under overflaten i MB9. Kulturlag fra borepunkt og miljøbrønn S7 ble vurdert som bra til utmerket over grunnvannsspeilet, mens underliggende lag ble vurdert til bra bevaringstilstand og forhold. I 2010 ble borepunktene instrumenterte, og det ble nedsatt kummer for å beskytte dette utstyret (Bye Johansen 2010b). Fra september 2011 ble, sammen med brønnene tilhørende Peleprosjektet, utstyret i brønnen skiftet ut, og det ble tatt i bruk multisensorer/multiparametersonder og automatisk overvåking av grunnvann. Det ble sluttrapportert på prosjektet i 2014 (se Tabell 44), med en oppsummering av måleperioden fra 2010–2013 (Martens & Bergersen 2014).

2.3.2.2 Måledata

Fire miljøbrønner, MB6, MB9, MB14 og S7, ble instrumentert med multiparametersonde for overvåking av grunnvannsstand, temperatur, pH, ledningsevne, og redoksforhold (se Tabell 45). Leverandør av MOV-tjenester var Bioforsk.

Brønn	Grunnvann moh.	Temperatur °C	pH	Lednings- evne mScm ⁻¹	Redoks mV	Oksygen
MB6	Mettet Stabilt Min 2,8–max 5,3. Median: 4,0; Gj.sn: 4,0	Min 1,2–max 13,9. Median: 7,9; Gj.sn: 8,0	Min 5,5–max 8,8. Median: 7,1; Gj.sn: 6,9	Min 0,0–max 13,8. Median: 1,1; Gj.sn: 1,3	Min -538–max 317. Median: -473; Gj.sn: -435	–
MB9	Mettet Stabilt Min 3,3–max 4,7. Median: 4,1; Gj.sn: 4,1	Min 3,7–max 12,7. Median: 8,6; Gj.sn: 8,3	Min 5,5–max 7,4. Median: 6,6; Gj.sn: 6,5	Min 0,2–max 2,1. Median: 0,9; Gj.sn: 1,0	Min -503–max - 79. Median: -444; Gj.sn: -435	–
MB14	Umettet Stabilt Min 2,2–max 3,6. Median: 3,0; Gj.sn: 2,9	Min 4,8–max 10,3. Median: 8,3; Gj.sn: 8,0	Min 6,3–max 7,1. Median: 6,7; Gj.sn: 6,6	Min 1,0–max 3,5. Median: 1,4; Gj.sn: 1,5	–	–
S7	Mettet Stabilt Min 1,2–max 2,1. Median: 1,8; Gj.sn: 1,7	Min 6,1–max 11,5. Median: 7,7; Gj.sn: 8,4	Min 6,1–max 11,5. Median: 7,7; Gj.sn: 8,4	Min 14,0– max 16,7. Median: 16,1; Gj.sn: 15,9	Min -476,1–max -370,0. Median: -442,9; Gj.sn: -442,7	–

Tabell 45: Sammenstilling av måledata fra 2010–2013 (Martens & Bergersen 2014).

2.3.2.3 Avvik

Etter et møte med Riksantikvaren og NIKU våren 2011 ble det klargjort at vannanalyser som er tid- og kostnadskrevende kan erstattes med multisensorer som overvåker grunnvann, temperatur, ledningsevne, redoksforhold og pH i grunnvannet. Slikt utstyr vil karakterisere både stabilitet, men også bevaringsforholdene til kulturlagene som kan påvirkes av grunnvannet i området.

Siden alt utstyret plassert i Oslo er satt ned under bakken, har all kommunikasjon via modem fungert veldig dårlig. Nesten all info er hentet manuelt fra loggerne og det har gitt en del utfordringer spesielt vinterstid. Et annet problem er restriksjoner i tilgjengelighet i Bjørvika. Miljøbrønn S7 (avstengt) og MB9 som ligger inne på Jernbaneverkets områder har vært vanskelig tilgjengelig. Sistnevnte har derfor medført at data fra utstyr har gått tapt, men også ikke vært tilgjengelig. Miljøovervåking i grunnvannsbrønner må være tilgjengelig i fremtiden slik at data kan overføres trådløst, men også at kalibrering og vedlikehold av sonder kan realiseres. Manglende mulighet for vedlikehold og kalibrering har medført at datasettene ikke er helt fullstendige.

Overvåking av grunnvannet i miljøbrønn S7 i tidsrommet 2011–2013 som en del av utviklingen av Midgardsormen, har vært utfordrende siden området store deler av tiden ble sperret av på grunn av anleggsarbeider.

Miljøbrønn S7 ble satt i drift igjen i 2013. Like etter oppstart ble brønnen slått i stykker av gravearbeider oppstrøms og omkring. Sistnevnte har derfor medført at data fra utstyr har gått tapt. S7 som egentlig skulle overvåke videre inn i 2014 er derfor avsluttet og rapportert til Riksantikvaren. I stedet er det like ved satt ned en ny Miljøbrønn DEG 8 som er operativ fra desember 2013.

Bioforsk/NIBIO mener at: «Tross avvik med brudd i dataserier vil vi hevde det foreligger et godt datagrunnlag for å gi vurderinger og konklusjoner i forhold til prosjektets målsetting». Det bemerkes likevel at: «MB6 gir ikke data vi kan stole på pga. brønnkonstruksjon og aktivitet ved brønnens overflate».

2.3.2.4 Resultater

Prosjektet og måledataene fra miljøbrønnen tilknyttet Midgardsormen ble sluttrapportert i 2014, hvor resultater fra perioden 2010 til 2013 ble oppsummert og redegjort for (Bye Johansen et al. 2009, 2012). I miljøbrønnene MB14, MB6 og MB9 viser resultatene fra overvåkingen relativt stabil grunnvannstand for de tre brønnene. Grunnvannstand varierer med årstid og nedbørsmengde, med

høyere vannstand sommerhalvåret enn vinter-halvåret. Grunnvannet varierer mer i brønnene MB6 og MB9 enn i MB14. Det påpekes imidlertid at det var usikkerhet til målingene av grunnvannsnivået i MB6 (Amundsen og Bergersen 2011). MB14 hadde lavest grunnvannsnivå på 2,9 moh., målt i gjennomsnitt fra 2010 til 2013. De to andre miljøbrønnene har gjennomsnittlig grunnvannsnivå på 4,0 og 4,1 moh. Økning i grunnvannsnivået ble påvist mer tydelig i slutten av 2012, mens det sank noe i 2013 (brønn MB6 og MB14). For miljøbrønn S7 viser overvåkingen at grunnvannsnivået varierer i underkant av 1 meter i måleperioden. Størst variasjon ble observert i vintermånedene da det var lite nedbør. Gjennomsnittverdien fra målingene viste en grunnvannstand på 1,7 moh.

Temperaturen i brønnene MB6, MB9 og MB14 var lik i hele måleperioden 2010 og ut 2013, med en middelværdi beregnet til 8,0–8,3 °C. Temperaturen i grunnvannet svinger med middel lufttemperatur. I S7 viste overvåkingen at temperaturen i grunnvannet varierte fra 6,0–11,5 °C med gjennomsnittsverdi 8,4 °C. Temperatursvingningene i grunnvannet fulgte svakt utetemperaturen.

Fra overvåkingene etter installasjon av multiparametersensorene i 2011, viser resultatene fra målingene pH i brønn MB14 er stabil i store deler av måleperioden selv om den sank i slutten av 2013. I brønn MB9 varierer pH-verdien mellom 5,5 og 7,0. Størst variasjon i pH er målt i brønn MB6, der pH-verdien varierer mellom 5,5 og 8,8. Det ser ut til at pH-verdien stabiliserer seg for alle tre brønnene mot slutten av måleperioden fra 2012 til 2013. I S7 varierte pH i grunnvannet lite gjennom året. Gjennomsnittlig pH-verdi var 6,8. I en periode med mye nedbør sommeren 2013, sank pH-verdien til 6,4. Siste del av måleperioden, med mindre nedbør, har pH-verdien steget sakte oppover.

Ledningsevne i brønn MB9 og MB14 var lav og stabil. Brønn MB6 har en periode med høy ledningsevne i begynnelsen av 2012. Dette skyldes trolig påvirkning fra overflatevann fra asfaltert område. Den relativt kraftige økningen observert mars 2012 er tidligere diskutert i Bioforsk rapport 7 (74) (Bergersen og Nytrø, 2012). Gjennomsnittlig ledningsevne var lav for disse tre brønnene. I S7 varierte ledningsevne i grunnvannet lite, og ligger stabilt på omkring 16 mS cm⁻¹.

Redoksmålingene viser stabile negative verdier i MB9. Høy redoksverdi i begynnelsen av måleperioden skyldes at sensoren ikke har stabilisert seg etter instrumentering. I brønn MB6 varierer redoksforholdene kraftig, mellom -538 mV til +317 mV. Dette skyldes trolig at oksygenrikt overflatevann infiltrerer grunnvannet. Siste halvdel av 2012 er derimot redoksverdiene for brønn MB6 stabile, under -400 mV. Redokspotensiale for brønn MB14 er kontrollmålt i felt. Målingen viste negativ redoksverdi på -213mV. I miljøbrønn S7 ligger redokspotensialet i grunnvannet stabilt på omkring -440 mV. Høy redoksverdi i begynnelsen av måleperioden skyldes at forholdene ikke var blitt stabile etter instrumentering av brønnen. Ingen av verdiene indikerer at det er tilgjengelig oksygen i grunnvannet, noe som er positivt med tanke på at organisk materiale utsettes for minimal nedbrytning.

Negativt redokspotensiale viste at grunnvannet under kulturlagene på kirkegården i middelalderparken har reduserende forhold og vil virke beskyttende på nærliggende kulturlag. Kulturlagene som ligger over, er mer utsatt for nedbrytning da de ligger i sandige elveavsetninger som jevnlig påvirkes av luft. Store fluktuasjoner i redoksverdi er negativt med tanke på bevaringsforhold for arkeologiske kulturlag. Det er derfor positivt at forholdene nå synes å være stabile i alle brønner.

Målingene viser at grunnvannsnivået i området ved både middelalderparken og S7 fluktuerte lite gjennom årene med målinger og at redoksforholdene i grunnvannet var stabilt lave. Temperatur, pH og ledningsevne viste også stabile målinger. Dette indikerer gode bevaringsforhold for organisk materiale og middels bra for uorganisk materiale i arkeologiske kulturlag i mettet sone. Ut fra de data som foreligger fra sluttrapporten, mente Bioforsk at det ikke var grunn til å anta at arbeidene tilknyttet prosjektet med å etablere Midgardsormen under Middelalderparken har endret grunnvannets nivå og kjemiske sammensetning på en måte som har forverret bevaringsforholdene av kulturlagene.

Stabile bevaringsforhold er positivt. Etter de gjennomførte undersøkelserne kan vi med rimelig sikkerhet anta at kulturlagene i mettet sone ligger trygt og stabilt. Største usikkerhetsmomentet her har vært og er fortsatt risikoen for negativ påvirkning på de øvre kulturlagene, i umettet sone.

2.3.3 DEG-prosjektet

De arkeologiske undersøkelsene i forbindelse med etablering av Dronning Eufemias gate (DEG) i Middelalderbyen Oslo (se Figur 6), inkluderte tilstandsvurdering og etablering av flere miljøbrønner. Ved veikrysset Dronning Eufemias gate og Haakon 5 gate ble det i 2010 etablert fem miljøbrønner, hvorav fire ble instrumentert med multiparametersonde (NIKU prosjektnummer 15620150/15620106). Brønnene ble boret i 2010. Måleserien løp over flere år, fra 2010–2018. Prosjektet var en del av en sammenfatning av erfaring fra ulike miljøovervåkningsprosjekter i Oslo, på oppdrag fra Riksantikvaren (Bye Johansen 2012).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bye Johansen, L.-M., Amundsen, H. R., Bergersen, O. & Amundsen, C. E.	2011	NIKU Rapport 273/2011 Bioforsk Rapport Vol 6 Nr. 144, 2011	Miljøovervåking i Dronning Eufemias gate (DEG), middelalderbyen, Oslo. Arkeologisk og jordfaglig undersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold og -tilstands samt miljøovervåking av grunnvann og kulturminner, 2010–2014.	Arkeologisk undersøkelse
Bergersen, O.	2012	Bioforsk Rapport Vol. 7 Nr. 66, 2012	Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gt. (DEG) Oslo. Statusrapport I 2011.	Statusrapport
Bergersen, O.	2013	Bioforsk Notat, Oslo/Ås	Statusrapport fra overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gt. (DEG) Oslo 2010, 2011 og 2012.	Notat/ Statusrapport
Bergersen, O.	2014	Bioforsk rapport Vol. 9 Nr. 54, 2014	Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Statusrapport II 2014.	Statusrapport
Bergersen, O.	2015a	Bioforsk rapport Vol. 10 Nr. 36, 2015	Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Status rapport III 2013 og 2014.	Statusrapport
Bergersen, O.	2016	NIBIO rapport Vol. 2 Nr. 98, 2016	Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Status rapport IV.	Statusrapport
Bergersen, O.	2020	NIBIO rapport Vol. 6 Nr. 96, 2020	Miljøovervåking av kulturminner i grunnvannsbrønner i Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo. Sluttrapport 2010 til 2018.	Sluttrapport

Tabell 46: Rapporter fra DEG-prosjektet.

2.3.3.1 Bakgrunn

Ved borepunktene MB3, MB4, MB5, MB7 og MB8, ble det i 2010 gjennomført en forundersøkelse (NIKU prosjektnummer 20150/20106) med boring og dokumentasjon av boresøyler og jordkjemiprøver (Amundsen & Bye Johansen 2011). De undersøkte kulturlagene i borepunktene til miljøbrønnene viste stabile og gode bevaringsforhold i alle kulturlag. Miljøbrønnene ble instrumentert samme år foruten MB8 som ble instrumentert i 2014, med multiparametersonder. Siste rapportering på prosjektet ble gjort i 2020 (se Tabell 46), hvor det ble oppsummert og redegjort for resultater for måleperioden fra 2010–2013 og for perioden 2014–2018 (Bergersen 2020).

2.3.3.2 Måledata

Fem miljøbrønnen, MB3, MB4, MB5, MB7 og MB8, ble instrumentert med sensor for overvåking av grunnvannsnivå (se Tabell 47). Fire av brønnene, MB4, MB5, MB7 og MB8, ble også instrumentert med multiparametersonde for overvåking av temperatur, pH, ledningsevne, redoksforhold og oksygen (MB8) (se Tabell 48, Tabell 49 og Tabell 50). Leverandør av MOV-tjenester var Bioforsk / NIBIO.

Grunnvann 2010-2013	MB3 moh.	MB4 moh.	MB5 moh.	MB7 moh.
Min	-0.16	0.10	0.37	0.19
Max	0.95	1.72	1.03	1.72
Median	0.61	0.56	0.64	0.71
Gjennomsnitt	0.59	0.70	0.67	0.73

Tabell 47: Sammenstilling av måledata av grunnvann fra 2010–2013 (Bergersen 2020).

Temp 2011–2014	MB4 °C	MB5 °C	MB7 °C	Redoks 2011–2014	MB4 mV	MB5 mV	MB7 mV
Min	5.4	6.4	4.9	Min	-543	-557	-511
Max	11.4	11.2	13.4	Max	40	-126	-279
Median	9.2	8.8	9.8	Median	-454	-470	-450
Gjennomsnitt	8.8	9.0	9.5	Gjennomsnitt	-420	-459	-453

pH 2011–2014	MB4	MB5	MB7	Ledningsevne 2011–2014	MB4 mScm-1	MB5 mScm-1	MB7 mScm-1
Min	6.8	6.0	6.6	Min	22.6	14.9	21.4
Max	7.5	7.9	7.4	Max	26.3	26.4	27.9
Median	7.0	7.2	7.0	Median	25.0	18.2	26.9
Gjennomsnitt	7.1	7.1	7.0	Gjennomsnitt	25.1	18.2	26.8

Tabell 48: Sammenstilling av måledata fra 2011–2014 (Bergersen 2020).

Grunnvann 2014	MB4 moh.	Temperatur 2014	MB4 °C	Redoksforhold 2014	MB4 mV	pH 2014	MB 4	Ledningsevne 2014	MB4 mS
Min	1.60	Min	6.7	Min	-528	Min	6.7	Min	21.7
Max	2.28	Max	11.8	Max	-277	Max	7.2	Max	26.3
Median	1.87	Median	9.1	Median	-495	Median	6.9	Median	25.5
Gjennomsnitt	1.92	Gjennomsnitt	9.4	Gjennomsnitt	-496	Gjennomsnitt	6.9	Gjennomsnitt	25.2

Grunnvann 2015	MB4 moh.	Temperatur 2015	MB4 °C	Redoksforhold 2015	MB4 mV	pH 2015	MB 4	Ledningsevne 2015	MB4 mS
Min	1.29	Min	7.9	Min	-506	Min	6.9	Min	20.2
Max	2.45	Max	11.5	Max	-449	Max	7.1	Max	25.2
Median	1.91	Median	9.7	Median	-494	Median	7.0	Median	24.7
Gjennomsnitt	1.93	Gjennomsnitt	9.7	Gjennomsnitt	-485	Gjennomsnitt	7.0	Gjennomsnitt	24.1

Grunnvann 2016	MB4 moh.	Temperatur 2016	MB4 °C	Redoksforhold 2016	MB4 mV	pH 2016	MB 4	Ledningsevne 2016	MB4 mS
Min	1.47	Min	8.7	Min	-495	Min	6.8	Min	21.6
Max	1.96	Max	11.9	Max	-441	Max	7.1	Max	25.5

Median	1.74	Median	9.8	Median	-468	Median	7.0	Median	24.7
Gjennomsnitt	1.73	Gjennomsnitt	10.0	Gjennomsnitt	-467	Gjennomsnitt	7.0	Gjennomsnitt	24.2
Grunnvann 2017 til 2018	MB4 moh.	Temperatur 2017 til 2018	MB4 °C	Redoksforhold 2017 til 2018	MB4 mV	pH 2017 til 2018	MB 4	Ledningsevne 2017 til 2018	MB4 mS
Min	1.33	Min	10.6	Min	-490	Min	6.5	Min	19.9
Max	2.39	Max	12.7	Max	-416	Max	7.0	Max	22.9
Median	1.73	Median	11.4	Median	-459	Median	7.0	Median	21.9
Gjennomsnitt	1.72	Gjennomsnitt	11.5	Gjennomsnitt	-456	Gjennomsnitt	6.9	Gjennomsnitt	21.7

Tabell 49: Sammenstilling av måledata av fra 2014–2018 (Bergersen 2020).

Grunnvann 2014 & 2015	MB 8 mo	Grunnvann 2016 & 2018	MB 8 moh.
Min	1.7	Min	1.4
Max	2.4	Max	1.8
Median	2.0	Median	1.58
Gjennomsnitt	2.0	Gjennomsnitt	1.6
Temperatur 2014 & 2015	MB 8 °C	Temperatur 2016 & 2018	MB 8 °C
Min	7.8	Min	7.5
Max	10.9	Max	10.5
Median	9.0	Median	9.3
Gjennomsnitt	9.2	Gjennomsnitt	9.2
Redoksforhold 2014 & 2015	MB 8 mV	Redoksforhold 2016 & 2018	MB 8 mV
Min	-500	Min	-502
Max	-216	Max	-493
Median	-452	Median	-496
Gjennomsnitt	-448	Gjennomsnitt	-496
pH 2014 & 2015	MB 8	pH 2016 & 2018	MB 8
Min	6.6	Min	7.4
Max	7.6	Max	7.6
Median	7.1	Median	7.4
Gjennomsnitt	7.1	Gjennomsnitt	7.4
Ledningsevne 2014 & 2015	MB 8 mS cm ⁻¹	Ledningsevne 2016 & 2018	MB 8 mS cm ⁻¹
Min	18.1	Min	17.7
Max	23.4	Max	20.8
Median	22.6	Median	20.2
Gjennomsnitt	21.8	Gjennomsnitt	19.8

Oksygen 2014 & 2015	MB 8 mgL ⁻¹	Oksygen 2016 & 2018	MB 8 mgL ⁻¹
Min	0.114	Min	0.100
Max	0.133	Max	0.136
Median	0.124	Median	0.130
Gjennomsnitt	0.124	Gjennomsnitt	0.130

Tabell 50: Sammenstilling av måledata av fra 2014–2015 (Bergersen 2020).

2.3.3.3 Avvik

Etter at overvåkingsprogrammet startet i Dronning Eufemias gate har det vært mye anleggsarbeid i området, slik at både MOV-utstyr og -brønner ikke har gitt kontinuerlige måleserier av resultater. Miljøbrønnene MB3, MB5 og MB7 er avviklet underveis siden trikketrase og vei er lagt over disse. Hull i dataseriene har oppstått pga. skader på utstyr grunnet fuktighet, frostskafer og kondens i miljøbrønnene og kummer. De lengste dataserier er fra DEG MB4 og DEG MB8, og disse har gitt dataserier som kan benyttes til å tolke bevaringsforholdene til kulturlagene i området på hver side av Nordengen bru før og etter etablering av høyhus og ny bru og nye veitraseer.

2.3.3.4 Resultater

Grunnvannsnivå i overvåkingsperioden 2010 til 2013 viste et gjennomsnitt på 0,6 til 0,7 moh. i miljøbrønnene MB3, MB4, MB5 og MB7. Grunnvannsnivå i overvåkingsperioden 2014 til 2018 viste et gjennomsnitt på 1,90 til 1,70 moh. i miljøbrønn MB4 og 1,99 til 1,92 moh. i miljøbrønn MB8. Gjennomsnitt og median beregninger viser at grunnvannsnivå i MB4 har steget med litt over 1 meter fra 2010 til 2018. Fluktuasjonene i minimum og maksimum grunnvannsnivå er observert i alle brønner i perioden 2010 til 2013, MB3 (1,10 m), MB4 (1,6 m), MB5 (0,6m) og MB7 (1,5 m). I perioden på 4 år 2014 til 2018 var fluktuasjonene (0,7 m, 1,2 m 0,5 m og 1,0 m) i MB4, men mer stabil i MB8 på 0,7 til 0,5m. Kulturlagene som ligger under laveste grunnvannstand er ikke utsatt for uttørking som følge av endret grunnvannstand.

Temperaturer i grunnvannet følger årstidsvariasjoner. Variasjonene innen hver brønn er fra 3–4°C med maksimumstemperaturer på 11–12°C. Gjennomsnitt og medianverdien er ca. 10–11°C i MB4 og 9°C i MB8. De øvrige brønner MB5 og MB7 fra 2010-2013 ble beregnet til 9°C. Lave jordtemperaturer beskytter organisk materiale mot nedbryting.

pH ligger i det nøytrale området på omkring 7,0 i alle brønner i perioden 2010–2018. Kun en svak økning til 7.4 er observert i MB8 fra 2014 og ut overvåkingsperioden. pH sank noe i 2018 fra brønn MB4.

Ledningsevnen (saltinnholdet) er høy, men stabilt på over 20–25 mScm⁻¹ i alle grunnvannsbrønner i overvåkingsperioden, noe som indikerer at grunnvannet er saltvannspåvirket.

Redokspotensialet i grunnvannet ble målt stabilt i området ca. -420 til -490 mV i alle miljøbrønner. Resultatene viser ingen tegn til at oksygen trenger eller har trengt ned til grunnvannet og påvirker eller skader kulturlagene under byggeaktiviteten. Oksygenkonsentrasjoner i MB8 viste i gjennomsnitt 0,13 mgL⁻¹. Korrelasjonsplott hvor måling av redokspotensialet sammenstilles med målinger av løst oksygen i både luftporer, eller grunnvann fra miljøbrønner, viser at redokspotensialet lavere enn + 200mV gir minimale forskjeller i oksygenmålinger (mg per L eller Vol %).

Ut fra overvåkingsdata presentert i prosjektets sluttrapport fra NIBIO (2010–2018) tolkes det at arbeidene tilknyttet prosjektet, nytt høyhus vest for Nordenga bru og ferdigstillelse av veiforbindelsen på østsiden av Nordengen bru, ikke har forandret bevaringsegenskapene som grunnvannet har i det undersøkte området i Dronning Eufemias gt. (DEG).

Igjen kan vi ut ifra de gjennomførte undersøkelser konkludere at kulturlagene i mettet sone ser ut til å ligge stabilt og uten pågående aktiv nedbrytning.

2.3.4 Follobanen MOV

I forbindelse med etableringen av ny trasé for Follobanen er det foretatt en rekke arkeologiske undersøkelser samt utført jordkjemisk og jordfysisk analyse av jordprøver fra kulturlag. I tillegg er det etablert to miljøovervåkingspunkter i ganske ulike kontekster; punkt 1 «Arkeologigropa» langt nord i det undersøkte området, på sydsiden av Bispegata (se Figur 6) og punkt 2, 'Saxegaardsgata' langt mot sør (Bergersen et al. 2017–2020). Begge er øst for Follobanen, mens noen av jordprøvene er tatt i området direkte berørt av traseen og vest for den (Bergersen 2015).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O.	2015b	NIBIO rapport 1(11) 2015	Forundersøkelse og analyser av jordprøver fra utgraving av Follobanetrase i Oslo.	Analysereport
Bergersen, O., S. Muthulingam & Ø. Johansen	2017	NIBIO rapport desember 2017	Statusrapport I overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetrase 2016-2023.	Statusrapport
Bergersen, O., S. Muthulingam & Ø. Johansen	2018	NIBIO rapport august 2018	Statusrapport II overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetrase 2016-2023.	Statusrapport
Bergersen, O., S. Muthulingam & Ø. Johansen	2019	NIBIO rapport november 2019	Statusrapport III overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetrase 2016-2023.	Statusrapport
Bergersen, O., T. E. Nytrø & Ø. Johansen	2020	NIBIO rapport oktober 2020	Statusrapport IV overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetrase 2016-2023.	Statusrapport
Bergersen, O.	2020	NIBIO rapport Vol. 6 Nr. 96, 2020	Miljøovervåking av kulturminner i grunnvannsbrønner i Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo. Sluttrapport 2010 til 2018.	Sluttrapport
Helstad, M. & Ø. Dahle	2015	NIKU Oppdragsrapport 39/2015	Follobanen F04 Klypen Vest	Arkeologisk undersøkelse
Derrick, M.	2015	NIKU Oppdragsrapport 40/2015	Follobaneprosjektet F04 Klypen Øst og Saxegaardsgata 15.	Arkeologisk undersøkelse
Hegdal, H.	2016	NIKU Oppdragsrapport 154/2016	Follobanen F04 Brofundament.	Arkeologisk undersøkelse
Haavik, A. & H. Hegdal	2020	NIKU Rapport 102	Follobanen 2015. Områdene nord for Bispegata.	Arkeologisk undersøkelse

Tabell 51: Rapporter fra Follobanen, Oslo.

2.3.4.1 Bakgrunn

Oppgraderingen av Follobanen og endring fra åpen jernbanelinje til spor i kulvert er det største enkeltstående inngrep i restene av middelalderbyen Oslo utført i nyere historie. Det er derfor gjennomført utgravninger over en lengere årrekke med svært spennende resultater som bidrar til nytolkning av middelalderbyens historie (Derrick 2015; Hegdal 2016; Helstad & Dahle 2015; Haavik & Hegdal 2020). De første jordprøvene som ble analysert ifra Follobanen er fra Klypen Øst Vollgrav, Klypen Øst Kirkegård, Arkeologigropa og Klypen Vest (Bergersen 2015, se under). Deretter ble det i 2016 installert overvåkingsutstyr i to profiler, begge øst for jernbanelinjen. Det ene punktet (Punkt 1 «Arkeologigropa») ligger rett sør for Bispegata, mens det andre (Punkt 2, «Saxegaardsgata») er etablert i jernbaneskråningen ved Saxegaardsgata 15 (Bergersen et al. 2017, 2018, 2019, 2020). Punkt 1 ble skadet i 2017 og kunne av hensyn til fremdrift og fremkommelighet på byggeplassen ikke reetableres før enn i 2019.

2.3.4.2 Måledata

Leverandør av MOV-tjenester var NIBIO og MVH Consult. Dataene er fremstilt i Tabell 52–Tabell 65, og i Figur 7–Figur 24. Med «Kasse» menes leveranse av prøver i bolker: Kasse 1–6.

Prøve Klypen Øst Vollgrav	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
15223	7.75	14776	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Sulfatred. - oksiderende
15224	7.60	14775	Høyt org. - og vanninnhold	Surt og middel	Sulfatred. - oksiderende
15225	7.07	14769	Lavt org. - og vanninnhold	Surt og middel	Sulfatred. - oksiderende
15226	7.40	14770	Lavt org. - middel vanninnhold	Middel surt og middel	Sulfatreduserende
15227	6.71	14765	Lavt org. - middel vanninnhold	Surt og middel	Sulfatreduserende
15228	6.87	14779	Lavt org. - middel vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende
15229	7.00	14780	Lavt org. - middel vanninnhold	Surt og middel	Sulfatred. - oksiderende
15230	7.32	14781	Lavt org. - middel vanninnhold	Surt og middel	Sulfatred. - oksiderende
15231	7.67	14782	Lavt org. - middel vanninnhold	Svakt surt og lav	Nitratred. - oksiderende
15232	8.49	14799	Lavt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Nitratred. - oksiderende

Tabell 52: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold fra ulike prøver fra Kasse 1 Klypen øst Vollgrav etter S2 analyse.

Prøve Klypen Øst Vollgrav	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammon- ium-N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
15223	7.75	14776	0.9	4.5	261	13.8	203	340	37%
15224	7.60	14775	1.1	3.7	5010	21.9	301	559	35%
15225	7.07	14769	0.6	5.5	3460	169.7	142	262	35%
15226	7.40	14770	0.6	7.4	3850	35.6	413	297	58%
15227	6.71	14765	0.6	3.5	7399	109.4	457	284	62%
15228	6.87	14779	0.6	13.4	6478	60.8	407	128	76%
15229	7.00	14780	0.6	5.8	4570	34.3	154	215	42%
15230	7.32	14781	0.6	10.6	3718	6.3	161	342	32%
15231	7.67	14782	2.7	0.5	2231	5.0	143	522	22%
15232	8.49	14799	3.6	0.3	1593	4.0	61	323	16%

Tabell 53: Kjemiske forhold i prøver hentet fra Kasse 1 Klypen øst Vollgrav etter S2 analyse.

Klypen Øst Vollgrav	Dyp (moh)	Stratum Lag	Tørrestoff (%)	Organisk materiale (%)	Vanninnhold (%)	pH	Lednings-evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
15223	7.75	14776	48	26	52	6.6	244	Middels	Middels	A3	A3
15224	7.60	14775	47	29	53	5.3	4702	Middels	Elendig	A3	A3
15225	7.07	14769	82	3	18	4.8	3067	Middels	Elendig	A3	A3
15226	7.40	14770	72	7	28	5.5	3013	Bra	Dårlig	A4	A3
15227	6.71	14765	74	3	26	4.2	4194	Bra	Elendig	A4	A5
15228	6.87	14779	76	3	24	6.1	853	Bra	Dårlig	A4	A3
15229	7.00	14780	74	4	26	4.5	2603	Middels	Elendig	A3	A3
15230	7.32	14781	76	5	24	5.2	3229	Middels	Elendig	A3	A3
15231	7.67	14782	73	7	27	5.9	665	Dårlig	Dårlig	A2	A3
15232	8.49	14799	87	3	13	7.2	71	Dårlig	Bra	A2	A3

	Lavt organisk materiale 10%		Elendig til dårlig
	Middels organisk materiale 10-25%		Middels
	Høyt organisk materiale 30-40%		Bra til utmerket
	Lavt vanninnhold 10-20%		Oksiderende forhold
	Middels vanninnhold 30-40%		Reduserende forhold
	Høyt vanninnhold 50-60%		

* SOPS : NS 9451:2009

Figur 7: Kjemiske og fysiske forhold i prøver hentet fra Kasse 1 Klypen øst Vollgrav etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.

Klypen Øst Kirkegård Nr	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
29497	9.32	12825	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
29498	9.12	22896	Lavt org. - middel vanninnhold	Svakt surt og lav	Oksiderende
29499	8.92	25566	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
29500	8.72	27124	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
29501	8.62	27125	Lavt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
29502	8.51	27127	Lavt org. - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Oksiderende
29503	8.40	27130	Middels org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende








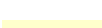



Tabell 54: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 2 Klypen Øst Kirkegård etter S2 analyse.

Klypen Øst Kirkegård Nr.	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammonium-N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
29497	9.32	12825	3.7	0.5	8	n.d.	27	133	17%
29498	9.12	22896	8.7	4.1	19	n.d.	51	277	16%
29499	8.92	25566	4.4	1.5	10	n.d.	18	116	13%
29500	8.72	27124	6.3	9.4	10	n.d.	68	322	17%

29501	8.62	27125	1.3	0.4	5	n.d.	39	239	14%
29502	8.51	27127	2.4	0.5	5	n.d.	36	271	12%
29503	8.40	27130	0.8	4.3	25	n.d.	130	773	14%

Tabell 55: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 2 Klypen Øst Kirkegård etter S2 analyse. (n.d not detected.)

Klypen Øst Kirkegård	Dyp	Stratum	Tørrstoff	Organisk materiale	Vann innhold	pH	Lednings- evne	Bevarings forhold			
								Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
Nr	(moh)		(%)	(%)	(%)		uScm ⁻¹				
29497	9.32	12825	71	8.6	29	7.1	101	Dårlig	Middels	A2	
29498	9.12	22896	63	5.7	37	6.4	279	Dårlig	Dårlig	A2	
29499	8.92	25566	72	7.2	28	6.8	91	Dårlig	Middels	A2	
29500	8.72	27124	71	8.6	29	6.7	146	Dårlig	Middels	A2	A3
29501	8.62	27125	84	2.9	16	7.0	65	Dårlig	Middels	A2	A3
29502	8.51	27127	84	1.8	16	6.5	72	Dårlig	Dårlig	A2	A3
29503	8.40	27130	57	16.2	43	6.7	129	Dårlig	Middels	A2	A3

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

Figur 8: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 2 Klypen Øst Kirkegård etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.

Prøve	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
11726	6.96	156	Høyt org. - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende
11727	6.83	157	Lavt org. - middel vanninnhold	Medium surt og medium	Sulfatred. - nitratreduserende
11728	6.71	7768	Middels org. - høyt vanninnhold	Surt og lav	Sulfatreduserende
11729	6.54	8359	Høyt org. - og vanninnhold	Svak surt og lav	Sulfatreduserende
11730	6.37	8494	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
11731	6.15	8505	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatred. - nitratreduserende
11732	5.85	8506	Middels org. - høyt vanninnhold	Medium surt og medium	Sulfatred. - oksiderende
11733 *	5.74	11636	Lavt org. - og vanninnhold	Surt og høy	Oksiderende

Tabell 56: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 3 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurensset.)

Prøve	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammonium-N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
11726	6.96	156	5.5	3.3	4410	88.5	225	63	78%

11727	6.83	157	13.8	21.8	3159	98.0	240	138	63%
11728	6.71	7768	1.7	13.3	3348	43.6	141	10	94%
11729	6.54	8359	3.6	4.2	2987	58.9	250	42	86%
11730	6.37	8494	2.3	10.7	1164	5.0	440	130	77%
11731	6.15	8505	63.3	105.9	515	18.5	393	90	81%
11732	5.85	8506	1.0	6.7	8778	45.1	227	244	48%
11733 *	5.74	11636	0.5	2.7	11716	11.0	43	472	8%

Tabell 57: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 3 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurenset.)

Prøve	Dyp (moh)	Stratum Lag	Tørrstoff (%)	Organisk materiale (%)	Vann innhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
11726	6.96	156	39	41	61	6.3	1660	Bra	Middels	A4	
11727	6.83	157	61	12	39	5.9	2196	Middels	Dårlig	A3-A4	A3
11728	6.71	7768	51	24	49	4.9	1746	Bra	Dårlig	A4	A4
11729	6.54	8359	34	50	66	6.5	958	Bra	Middels	A4	A4
11730	6.37	8494	41	38	59	6.9	896	Bra	Middels	A4	A3
11731	6.15	8505	38	47	62	7.0	452	Middels	Middels	A3-A4	A4
11732	5.85	8506	53	26	47	5.9	2340	Middels	Dårlig	A3	A4
11733 **	5.74	11636	86	2	14	2.9	7776	Dårlig	Elendig	A2	A5

<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #f4a460;"></td> <td>Lavt organisk materiale 10%</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #e67e22;"></td> <td>Middels organisk materiale 10-25%</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #c0392b;"></td> <td>Høyt organisk materiale 30-40%</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #95a5a6;"></td> <td>Lavt vanninnhold 10-20%</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #7fb8d1;"></td> <td>Middels vanninnhold 30-40%</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #3498db;"></td> <td>Høyt vanninnhold 50-60%</td> </tr> </table>		Lavt organisk materiale 10%		Middels organisk materiale 10-25%		Høyt organisk materiale 30-40%		Lavt vanninnhold 10-20%		Middels vanninnhold 30-40%		Høyt vanninnhold 50-60%	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #95a5a6;"></td> <td>Elendig til dårlig</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #7f7f7f;"></td> <td>Middels</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #34495e;"></td> <td>Bra til utmerket</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #fff9c4;"></td> <td>Oksiderende forhold</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #c8e6c9;"></td> <td>Reduserende forhold</td> </tr> </table> <p style="font-size: small;">* SOPS : NS 9451:2009 ** Diesel forurenset</p>		Elendig til dårlig		Middels		Bra til utmerket		Oksiderende forhold		Reduserende forhold
	Lavt organisk materiale 10%																						
	Middels organisk materiale 10-25%																						
	Høyt organisk materiale 30-40%																						
	Lavt vanninnhold 10-20%																						
	Middels vanninnhold 30-40%																						
	Høyt vanninnhold 50-60%																						
	Elendig til dårlig																						
	Middels																						
	Bra til utmerket																						
	Oksiderende forhold																						
	Reduserende forhold																						

Figur 9: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 3 Arkeologigropa etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.

Prøve	Dyp (moh.)	Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
12082	6.41	7709	Middels org. - høyt vanninnhold	Nøytral og lav	Nitrat til jernreduksjon
12083	6.23	7713	Middels org. - høyt vanninnhold	Nøytral og lav	Nitrat til jernreduksjon
12084	6.02	9645	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Nitrat til jernreduksjon
12085	5.79	9645	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Nitrat til jernreduksjon
12086	5.57	10793	Middels org. - høyt vanninnhold	Svak surt og medium	Nitrat til jernreduksjon

12087	5.28	10586	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytral og lav	Jernreducerende
12088 *	5.19	11071	Lavt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Jernreducerende
12089	5.07	11072	Lavt org. - middel vanninnhold	Middels surt og lav	Nitrat til oksiderende
12090 *	4.93	11636	Lavt org. - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreducerende

Tabell 58: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 4 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurenset.)

Prøve	Dyp (moh.)	Lag	Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammonium-N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
12082	6.41	7709	6.9	3.3	988	80.0	84	29	75%
12083	6.23	7713	45.5	3.4	1627	30.0	282	80	78%
12084	6.02	9645	189.9	6.0	3124	69.9	225	44	84%
12085	5.79	9645	215.6	8.2	1820	54.7	345	32	92%
12086	5.57	10793	176.7	4.1	1871	59.7	422	18	96%
12087	5.28	10586	2.6	1.7	362	19.8	398	46	90%
12088 *	5.19	11071	0.5	0.7	79	19.7	665	83	89%
12089	5.07	11072	8.3	1.7	4505	24.3	215	331	39%
12090 *	4.93	11636	0.5	0.5	560	74.8	97	2	98%

Tabell 59: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 4 Arkeologigropa etter S2 analyse. (* Diesel-forurenset.)

Prøve	Dyp (moh)	Stratum	Tørrestoff (%)	Organisk materiale (%)	Vann innhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
12082	6.41	7709	51	26	49	7.1	932	Middels	Middels	A3	A3
12083	6.23	7713	47	24	53	7.0	1296	Middels	Middels	A3	A3
12084	6.02	9645	44	28	56	6.8	1199	Middels	Middels	A3	A3
12085	5.79	9645	29	57	71	7.0	954	Middels	Middels	A3	A3
12086	5.57	10793	53	19	47	6.6	2311	Middels	Dårlig	A3	A3
12087	5.28	10586	62	13	38	7.2	715	Middels	Bra	A3	A3
12088 **	5.19	11071	84	4	16	6.7	260	Middels	Middels	A3	A3
12089	5.07	11072	61	12	39	5.9	1026	Middels	Dårlig	A3	A4
12090 **	4.93	11636	91	13	9	6.1	1188	Bra	Dårlig	A4	A5

<table style="border: none;"> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #f4a460;"></td><td>Lavt organisk materiale 10%</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #e67e22;"></td><td>Middels organisk materiale 10-25%</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #c0392b;"></td><td>Høyt organisk materiale 30-40%</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #a6c9ec;"></td><td>Lavt vanninnhold 10-20%</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #5dade2;"></td><td>Middels vanninnhold 30-40%</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #0070c0;"></td><td>Høyt vanninnhold 50-60%</td></tr> </table>		Lavt organisk materiale 10%		Middels organisk materiale 10-25%		Høyt organisk materiale 30-40%		Lavt vanninnhold 10-20%		Middels vanninnhold 30-40%		Høyt vanninnhold 50-60%	<table style="border: none;"> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #d9d9d9;"></td><td>Elendig til dårlig</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #959595;"></td><td>Middels</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #4f4f4f;"></td><td>Bra til utmerket</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #ffff00;"></td><td>Oksiderende forhold</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #90ee90;"></td><td>Reducerende forhold</td></tr> </table> <p style="font-size: small;">* SOPS : NS 9451:2009 ** Diesel forurenset</p>		Elendig til dårlig		Middels		Bra til utmerket		Oksiderende forhold		Reducerende forhold
	Lavt organisk materiale 10%																						
	Middels organisk materiale 10-25%																						
	Høyt organisk materiale 30-40%																						
	Lavt vanninnhold 10-20%																						
	Middels vanninnhold 30-40%																						
	Høyt vanninnhold 50-60%																						
	Elendig til dårlig																						
	Middels																						
	Bra til utmerket																						
	Oksiderende forhold																						
	Reducerende forhold																						

Figur 10: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 4 Arkeologigropa etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.








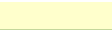



Prøve	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
16688	6.00	13668	Høyt org. - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende
16689	5.94	13668	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytal og medium	Sulfatreduserende
16690	5.84	13668	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytal og medium	Sulfatreduserende
16691	5.68	10586	Middels org. - høyt vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende
16692	5.68	10586	Høyt org. - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende
16693	5.63	10586	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
16694	5.44	11072	Middels org. - høyt vanninnhold	Svakt surt og medium	Sulfatreduserende
16695	5.48	11072	Høyt org. - og vanninnhold	Svakt surt og medium	Sulfatreduserende
16696	5.48	11072	Middels org. - høyt vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende

Tabell 60: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 5 Arkeologigropa etter S2 analyse.

Prøve	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammonium-N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
16688	6.00	13668	1.7	9.0	2442	17.7	245	129	65%
16689	5.94	13668	2.0	8.4	3343	82.0	310	80	80%
16690	5.84	13668	1.7	9.6	513	31.3	167	220	43%
16691	5.68	10586	8.5	7.1	2540	101.6	197	25	89%
16692	5.68	10586	9.8	5.6	3700	50.8	228	11	95%
16693	5.63	10586	3.6	5.4	2244	73.9	227	20	92%
16694	5.44	11072	1.0	16.5	5885	74.7	297	67	82%
16695	5.48	11072	1.3	41.6	5917	10.5	305	30	91%
16696	5.48	11072	1.0	2.7	6520	115.3	183	17	91%

Tabell 61: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 5 Arkeologigropa etter S2 analyse.

Prøve	Dyp (moh)	Stratum Lag	Tørrstoff (%)	Organisk materiale (%)	Vann innhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
16688	6.00	13668	27	46	73	6.1	472	Middels	Dårlig	A3-A4	A3
16689	5.94	13668	25	52	75	6.7	763	Bra	Middels	A4	A3
16690	5.84	13668	27	47	73	6.9	258	Middels	Middels	A3-A4	A3
16691	5.68	10586	35	33	65	6.5	1292	Bra	Dårlig	A4	A3
16692	5.68	10586	24	60	76	6.4	972	Bra	Dårlig	A4	A3
16693	5.63	10586	29	51	71	7.0	742	Bra	Middels	A4	A3
16694	5.44	11072	44	28	56	6.5	2398	Bra	Dårlig	A4	A4
16695	5.48	11072	32	52	68	6.1	2048	Bra	Dårlig	A4	A4
16696	5.48	11072	44	33	56	6.1	1789	Bra	Dårlig	A4	A4

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

Figur 11: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 5 Arkeologigropa etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.












Prøve	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
5338	3.93	SL5356	Middels org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Sulfatred. - nitratreduserende
5339	3.79	SL5357	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Sulfatred. - nitratreduserende
5340	3.55	SL5358	Høyt org. - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende
5341	3.50	SL5359	Høyt org. - og vanninnhold	Middels surt og lav	Sulfatreduserende
5342	3.38	SL5360	Lavt org. - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatred. - oksiderende

Tabell 62: Kortfattet vurdering av bevaringsforhold i prøver fra Kasse 6 Klypen vest etter S2 analyse.

Prøve	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammonium- N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
5338	3.93	SL5356	79.0	4.3	358	19.3	221	235	48%
5339	3.79	SL5357	77.0	12.4	1184	9.3	338	395	46%
5340	3.55	SL5358	3.7	7.0	12020	47.1	505	401	56%
5341	3.50	SL5359	1.7	78.3	14677	52.4	1119	987	53%
5342	3.38	SL5360	7.5	31.4	1496	4.6	324	370	47%

Tabell 63: Kjemiske forhold i prøver fra Kasse 6 Klypen vest etter S2 analyse.

Prøve	Dyp	Stratum	Tørrstoff (%)	Organisk materiale (%)	Vanninnhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
	(moh)							Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
5338	3.93	SL5356	54	22	46	6.9	575	Middels	Middels	A3-A4	A4
5339	3.79	SL5357	31	52	69	6.7	285	Middels	Middels	A3-A4	A4
5340	3.55	SL5358	28	60	72	6.1	1825	Bra	Dårlig	A4	A4
5341	3.50	SL5359	30	51	70	5.8	1681	Bra	Dårlig	A4	A4
5342	3.38	SL5360	77	3	23	6.2	1127	Middels	Dårlig	A3-A4	

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

Figur 12: Kjemiske og fysiske forhold i prøver fra Kasse 6 Klypen vest etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.

Prøve og sted	Dyp (moh.)	Lag	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold
Arkeologigropa					
Sensor 1	6.20	6039	Lavt org. - middel vanninnhold	Svak surt og lav	Sulfatred. - oksiderende
Sensor 2	6.0	13668	Lavt org. - middel vanninnhold	Middel surt og medium	Sulfatreduserende
Sensor 3	5.84	16537	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytral og lav	Sulfatreduserende
Sensor 4	5.64	20635	Høyt org. - og vanninnhold	Svak basisk og lav	Sulfatreduserende
Sensor 5	5.44	11072	Høyt org. - og vanninnhold	Nøytral og medium	Sulfatreduserende
Sensor 6	5.48	11072	Middels org. - vanninnhold	Nøytral og medium	Sulfatreduserende
Ekstra prøve		5086	Middels org. - vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
Saxegården					
Sensor 1	9.32	12825	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
Sensor 2	8.92	25866	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
Sensor 3	8.72	27124	Lavt org. - vanninnhold	Nøytral og lav	Nitratred. - oksiderende
Sensor 4	8.62	27125	Lavt org. - vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
Sensor 6	8.40	27127	Lavt org. - vanninnhold	Nøytral og lav	Oksiderende
Sensor 5	8.25	27130	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytral og lav	Nitratred. - oksiderende

Tabell 64: Prøver fra langtidsovervåking Follobanen Punkt 1 (Arkeologigropa) og 2 (Saxegaardsgt 15).

Prøve og sted	Dyp (moh.)	Stratum Lag	Nitrate - N (mg/kg DM)	Ammonium-N (mg/kg DM)	Sulphate (mg/kg DM)	Sulphide (mg/kg DM)	Iron (II) (mg/kg DM)	Iron (III) (mg/kg DM)	% of Iron (II)
Arkeologigropa									
Sensor 1	6.20	6039	0.8	3.1	1235	30.0	127	139	48 %
Sensor 2	6.0	13668	0.7	13.5	4676	143.0	259	134	66 %
Sensor 3	5.84	16537	1.6	96.0	1815	163.3	268	1	100 %
Sensor 4	5.64	20635	4.3	129.3	1647	82.4	180	12	94 %
Sensor 5	5.44	11072	4.0	90.2	5217	40.5	394	12	97 %
Sensor 6	5.48	11072	4.4	46.5	2378	60.6	329	1	100 %
Ekstra prøve		5086	3.0	0.8	320	6.0	19	240	7 %
Saxegården									
Sensor 1	9.32	12825	4.0	0.7	22.3	n.d.	12	200	6 %
Sensor 2	8.92	25866	2.9	0.6	9.3	n.d.	8	66	11 %
Sensor 3	8.72	27124	2.7	0.6	5.8	n.d.	25	63	28 %
Sensor 4	8.62	27125	3.2	1.2	13.1	n.d.	32	418	7 %
Sensor 6	8.40	27127	0.5	1.4	6.2	n.d.	35	347	9 %
Sensor 5	8.25	27130	5.0	0.7	55.2	n.d.	72	145	33 %

Tabell 65: Prøver fra langtidsovervåkning Follobanen Punkt 1 (Arkeologigropa) og 2 (Saxegaardsgt 15). (n.d not detected.)

Prøve og sted	Dyp (moh)	Lag	Tørrstoff (%)	Organisk materiale (%)	Vann innhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
Arkeologigropa											
Sensor 1	6.20	6039	59	11	41	6.3	1595	Middels	Dårlig	A3	
Sensor 2	6.0	13668	60	13	40	5.5	4781	Bra	Dårlig	A4	
Sensor 3	5.84	16537	35	48	65	7.3	814	Bra	Middels	A4	
Sensor 4	5.64	20635	39	37	61	7.7	86	Bra	Bra	A4	
Sensor 5	5.44	11072	45	35	55	7.1	2585	Bra	Middels	A4	
Sensor 6	5.48	11072	57	20	43	7.2	2113	Bra	Middels	A4	
Ekstra prøve		5086	58	22	42	7.0	150	Dårlig	Middels	A2	
Saxegården											
Sensor 1	9.32	12825	71	7	29	7.1	138	Elendig	Middels	A1	
Sensor 2	8.92	25866	72	10	28	7.0	126	Dårlig	Middels	A2	
Sensor 3	8.72	27124	82	5	18	7.0	77	Dårlig	Middels	A2	
Sensor 4	8.62	27125	85	4	15	6.9	92	Elendig	Middels	A1	
Sensor 6	8.40	27127	85	3	15	6.9	70	Elendig	Middels	A1	
Sensor 5	8.25	27130	64	12	36	6.8	128	Dårlig	Middels	A2/A3	

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

Elendig til dårlig
 Middels
 Bra til utmerket
 Oksiderende forhold
 Reduserende forhold
 * SOPS : NS 9451:2009

Figur 13: Analyse av bevaringsforhold Follobanen Punkt 1 (Arkeologigropa) og 2 (Saxegaardsgt 15).

Prøve og sted	Dyp (moh)	Lag	Tørrstoff (%)	Organisk materiale (%)	Vanninnhold (%)	pH	Lednings- evne uScm ⁻¹	Bevarings forhold			
								Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske forhold *
Arkeologigropa ny profil											
Temp/fukt sensor 4		Lag 1 Nord	62	15	38	7,9	57	Dårlig	Middels	A2	
		Lag 1 Sør	72	10	28	8,1	54	Dårlig	Middels	A2	
Temp/fukt sensor 3		Lag 2 Nord	33	51	67	7,9	62	Dårlig	Middels	A2	
Temp/fukt sensor 2		Lag 4 Nord	34	52	66	7,5	198	Middels	Middels	A3	
Temp/fukt sensor 6		Lag 4 Sør	34	45	66	7,6	160	Bra	Middels	A4	
Temp/fukt sensor 1		Lag 5 Nord	51	23	49	7,5	197	Middels	Middels	A3	
Temp/fukt sensor 5		Lag 5 Sør	42	35	58	7,5	201	Middels	Middels	A3-A4	
				Lavt organisk materiale 10%				Middels		Elendig til dårlig	
				Middels organisk materiale 10-25%				Bra		Middels	
				Høyt organisk materiale 30-40%				Bra		Bra til utmerket	
				Lavt vanninnhold 10-20%							
				Middels vanninnhold 30-40%						Oksiderende forhold	
				Høyt vanninnhold 50-60%						Reduserende forhold	
								* SOPS : NS 9451:2009			

Figur 14: Analyse av bevaringsforhold Follobanen nytt Punkt 1.

2.3.4.3 Avvik

Periodevis har det vært usikre oksygenmålinger i Punkt 2, Saxegaardsgata 15. I 2017 ble alt overvåkingsutstyr i Punkt 1 gravd bort. Dette ble erstattet i 2019. Det mangler derfor lengere måleserier ifra punkt 1. Da det nye utstyret ble installert, ble det først benyttet veldig tette målinger, noe som dessverre førte til enda et brudd i måleseriene inntil det ble justert til fire målinger pr døgn. Fra det ble etablert internasjonalt reiseforbud i mars 2020 i forbindelse med COVID-19 pandemien har vi mistet kontakten med MVH Consult. Vi har derfor ikke fått oppdaterte analyser av data innhentet av disse sonder, men arbeider på å finne alternative løsninger, der NIBIO henter ut data også fra disse dataloggere.

2.3.4.4 Resultater

Bevaringsforholdene i kulturlag Klypen Øst Vollgrav (prøve 15223-15232)

Bevaringsforholdene for organisk materiale var middels i prøvene 15223 til 15230, men dårlig i prøve 15231 og 15232. Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale i prøve 15223 var middels bra og bra i 15232 pga. nøytral pH som vil bevare metallgjenstander og bein. I de resterende prøver var bevaringsforholdene dårlig til elendig siden prøvene hadde surt miljø med lavere pH som vil kunne skade bein og metallgjenstander på sikt.

Bevaringsforholdene i kulturlag Klypen Øst Kirkegård (prøve 29497-29503)

Bevaringsforholdene for organisk materiale var dårlig her siden alle prøver viste oksiderende forhold og som kan forklare lavt organisk innhold. Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale var dårlig i prøve 29498 og 29502, mens resten hadde middels bra i disse prøver. pH lavere enn 6.5 kan påvirke metallgjenstander og bein. Det ble påvist lav ledningsevne.

Bevaringsforholdene i Arkeologigropa (prøve 11726-11733)

Bevaringsforholdene for organisk materiale var i kategorien "middels og bra" med unntak av det dypeste lag med oksiderende forhold. Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale var dårlig til middels pga. lavere pH og høy ledningsevne som vil kunne påvirke bevaring av metallgjenstander og bein. Den diesel forurensede prøven hadde elendige bevaringsforhold både for organisk og uorganisk materiale.

Bevaringsforholdene i Arkeologigropa (prøve 12082-12090)

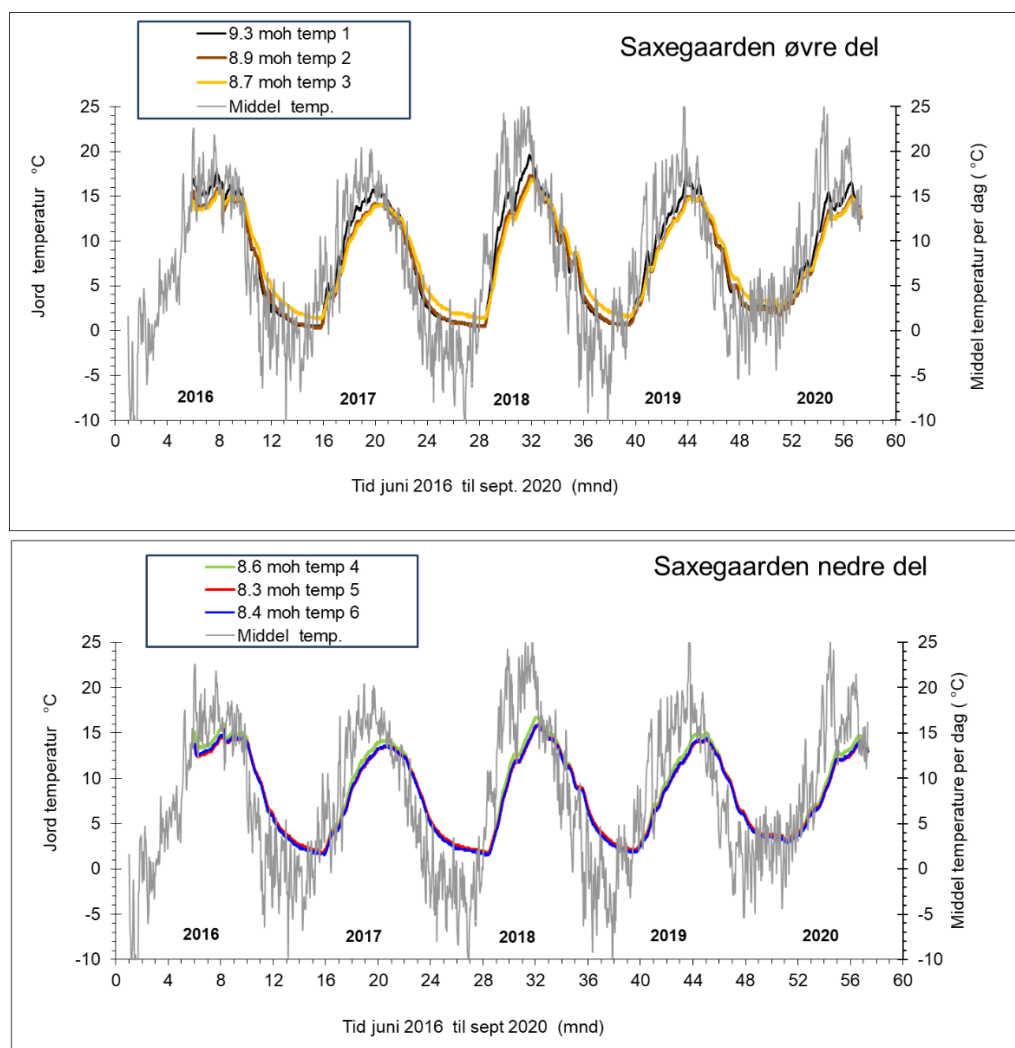
Bevaringsforholdene for organisk materiale var i kategorien "middels" og bra i lag på kote 4.9 moh. Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale var middels i øvre lag og dårligere lenger ned pga. svakt surt miljø og høyere ledningsevne som vil bevare metallgjenstander og bein dårlig. Prøve fra kote 5.3 moh. viste bra forhold for uorganisk materiale.

Bevaringsforholdene i Arkeologigropa (prøve 16688-16696)

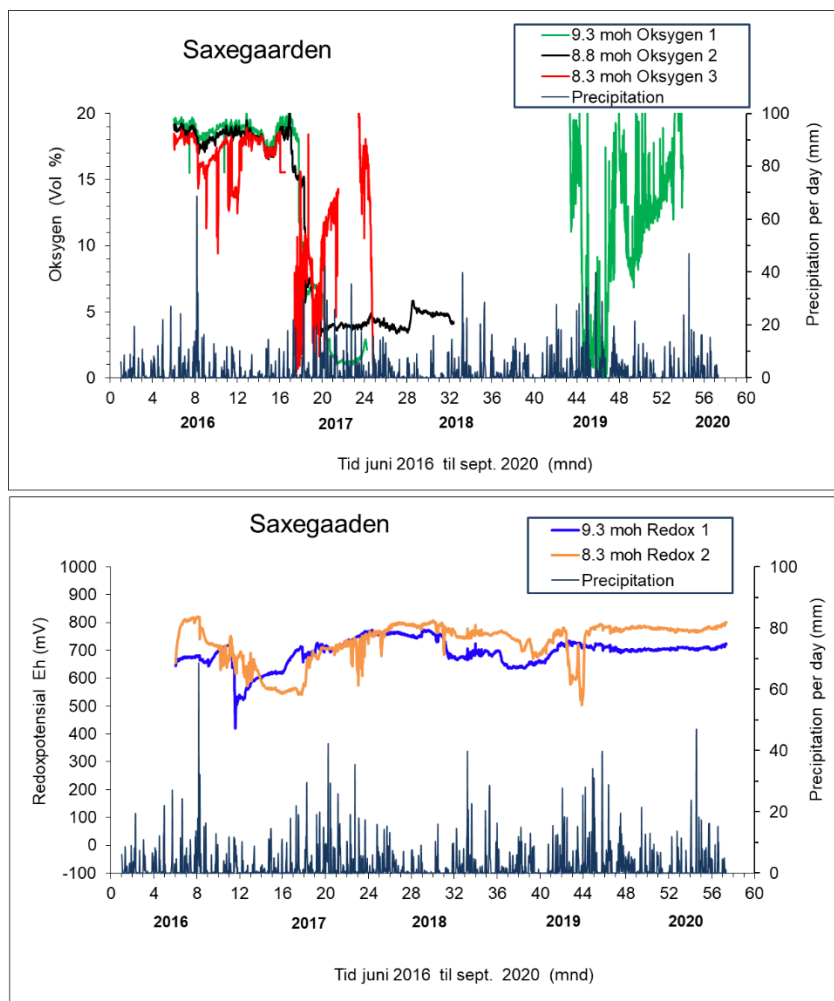
Bevaringsforholdene for organisk materiale var i kategorien “bra” i alle kulturlag med unntak av lag (kote 6.0 og 5.84moh.) hvor bevaringsforholdene var middels gode, Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale var middels i 3 prøver ellers dårlig pga. svakt surt miljø og høyere ledningsevne som vil påvirke bevaring av metallgjenstander og bein dårlig.

Bevaringsforholdene i Klypen Vest (prøve 5338-5342)

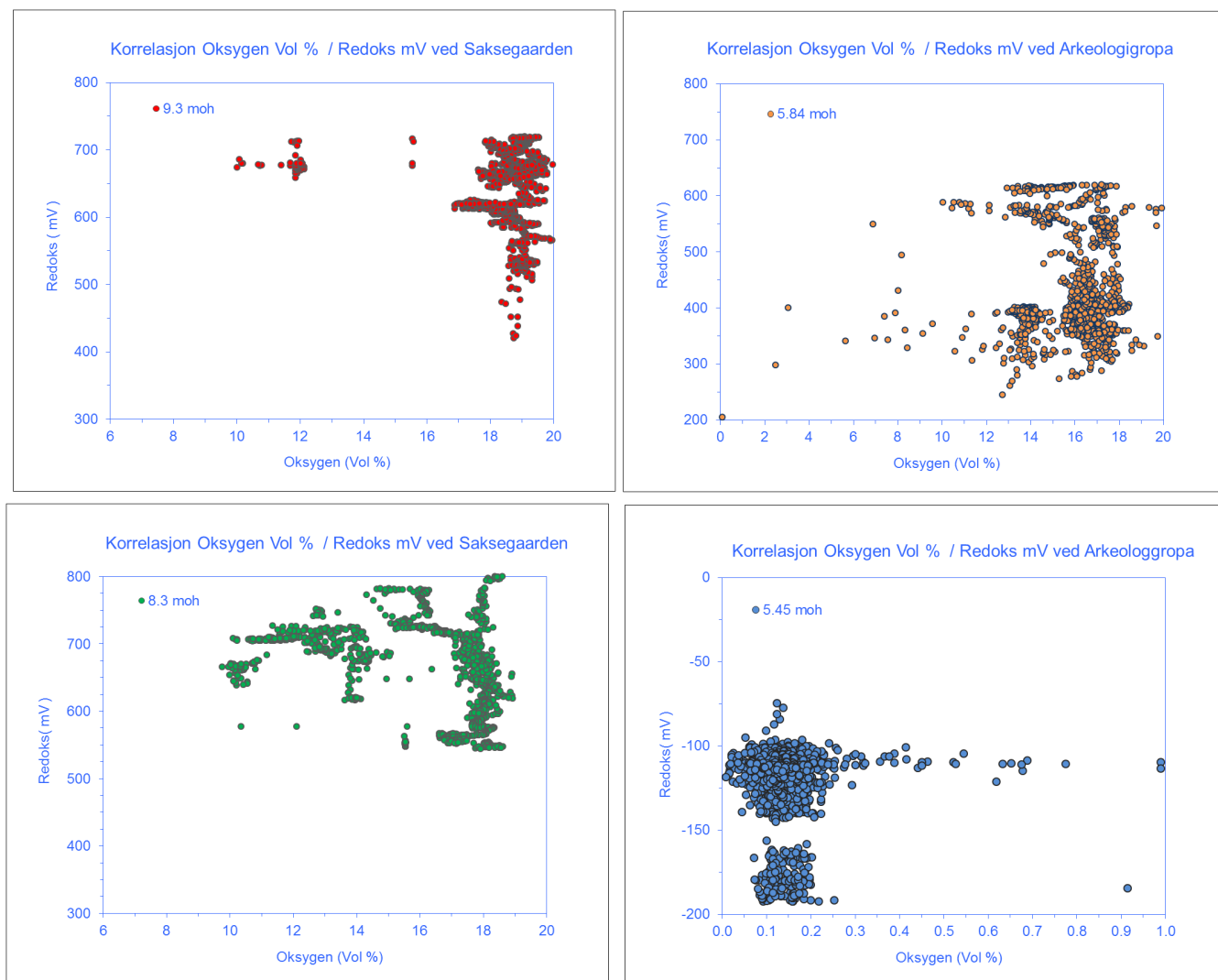
Bevaringsforholdene for organisk materiale var i kategorien “middels til bra” i alle kulturlag. Bevaringsforholdene vurdert for uorganisk materiale var middels i øvre lag og dårligere lenger ned pga. svakt surt miljø som vil kunne skade metallgjenstander og bein.



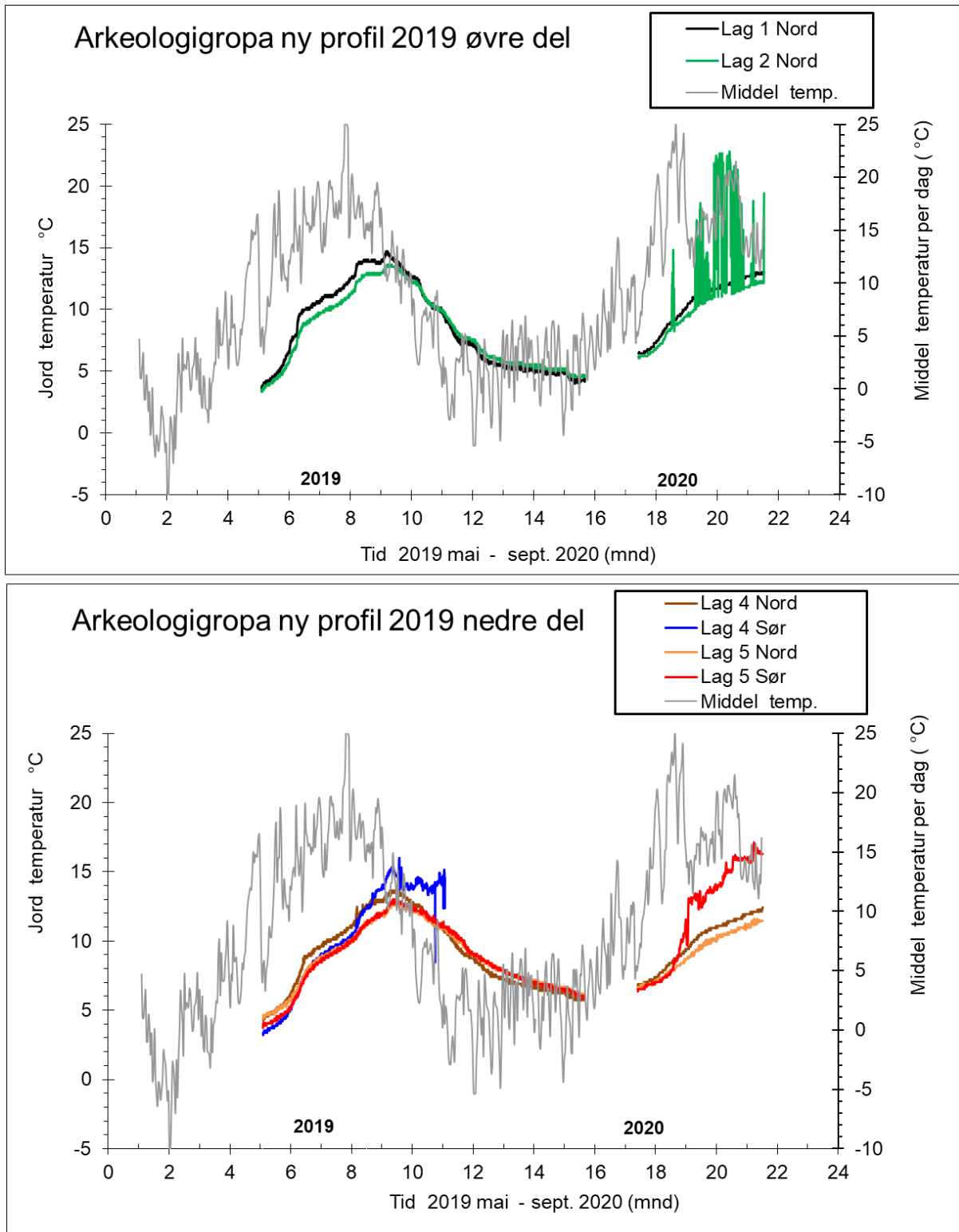
Figur 15: Jordtemperatur målt i 6 ulike kulturlag fra profilen i fra Saxegaardsgata 15 sammenstilt med middel utetemperatur per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til sept. 2020.



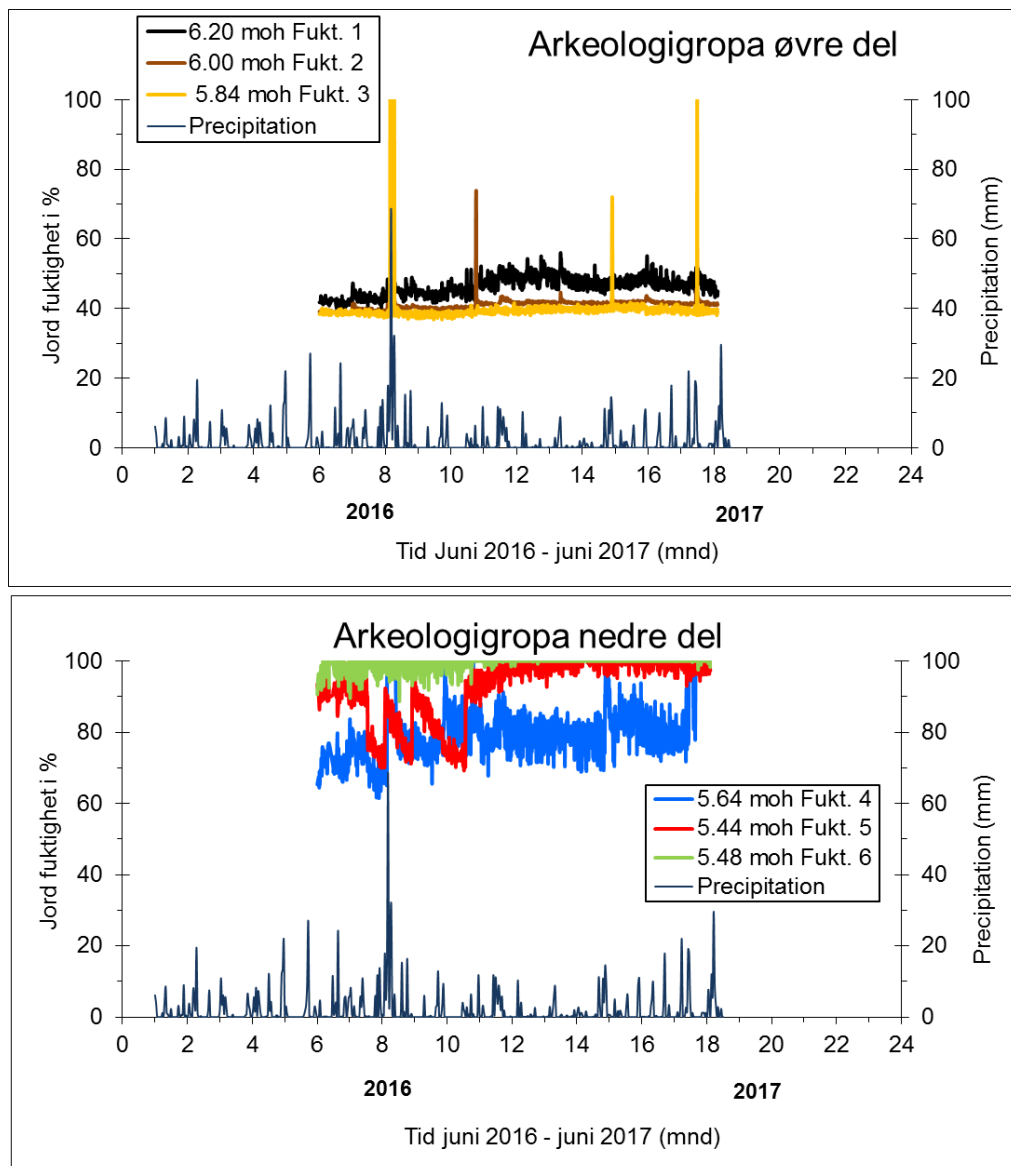
Figur 16: Oksygeninnhold i porevolum (over) og redokspotensialet (under) målt i ulike kulturlag på kirkegården ved Saxegaarden sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til sept. 2020.



Figur 17: Punktdiagram og korrelasjon mellom målt redokspotensialet og innhold av oksygen i umettet profil fra to ulike kulturlag koter ved Saxegaardsgata 15 og Arkeologigropa 2016-2017. Ved Saxegaardsgata viser hovedtyngden av redoksverdiene +600 til +800 mV og oksygenverdier på 12 til 18 Vol %. Ved Arkeologigropa viser målingene forskjellig forhold i øvre og nede del av profilen. Hovedtyngden av verdiene fra +300mV og oppover viser høyere oksygenverdier på 12 til 18 Vol % i øvre del, mens dypere kulturlag med negative redoksverdier fra -75 mV og ned til -200 mV viser hovedtyngde av oksygen målt mellom 0,1 til 0,2 Vol %.

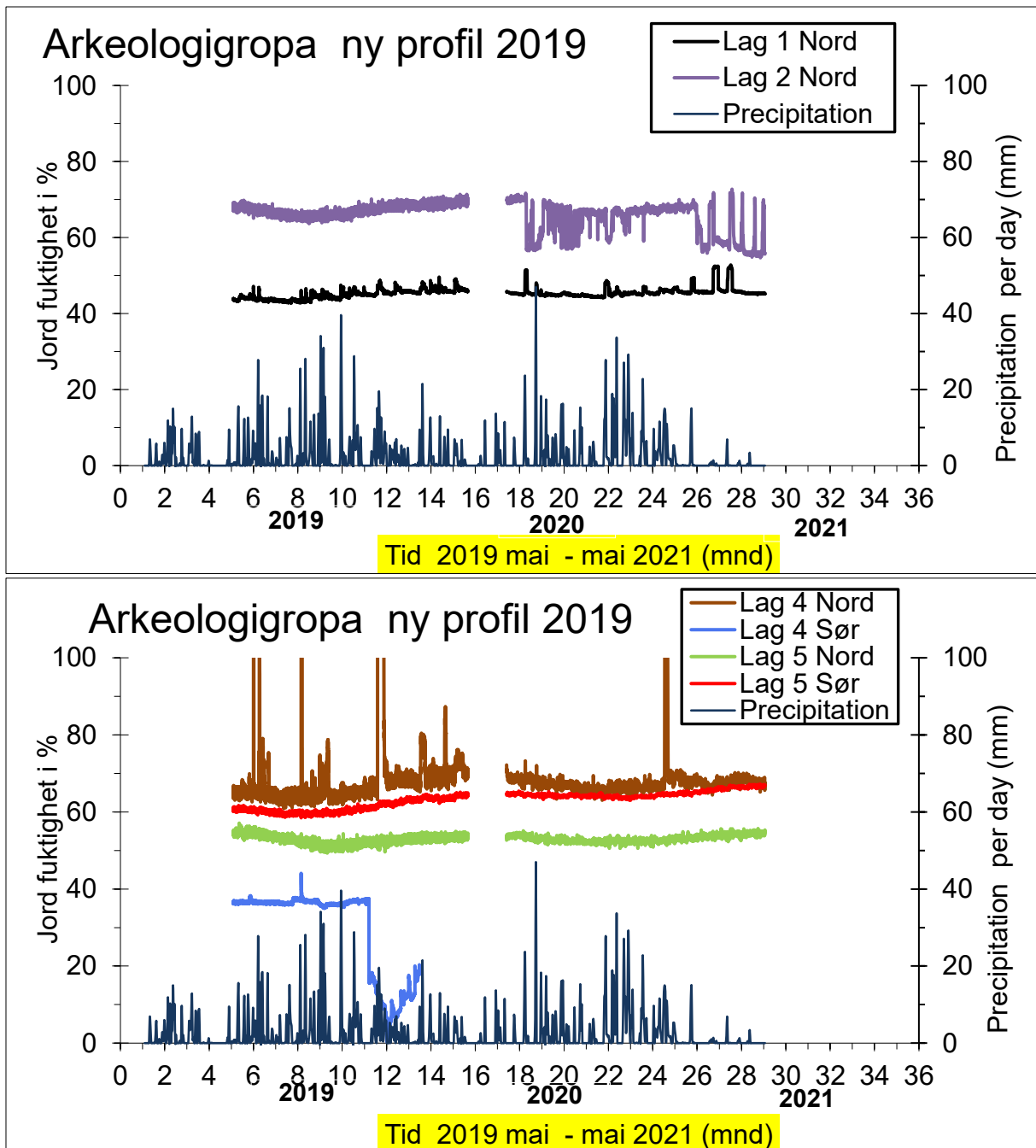


Figur 18: Jordtemperatur målt i 6 ulike kulturlag fra profilen i fra Arkeologigropa ny profil sammenstilt med middel utetemperatur per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden mai 2019 til sept. 2020.

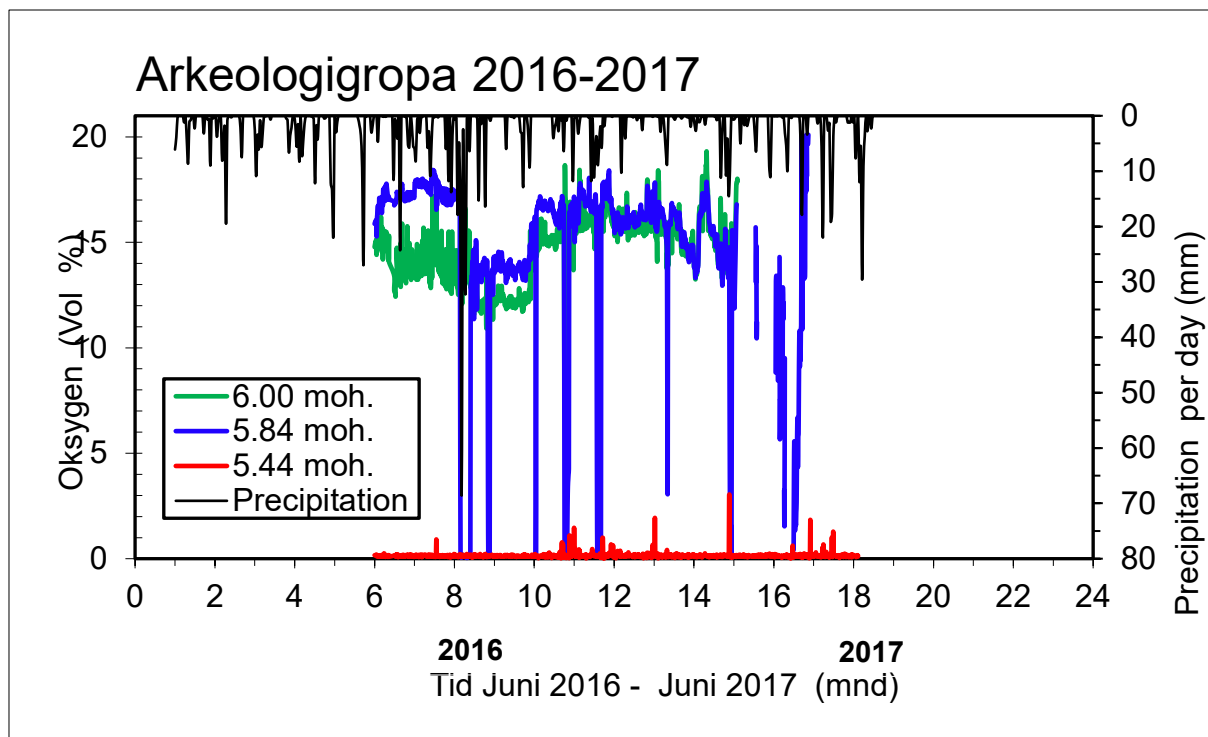


Figur 19:

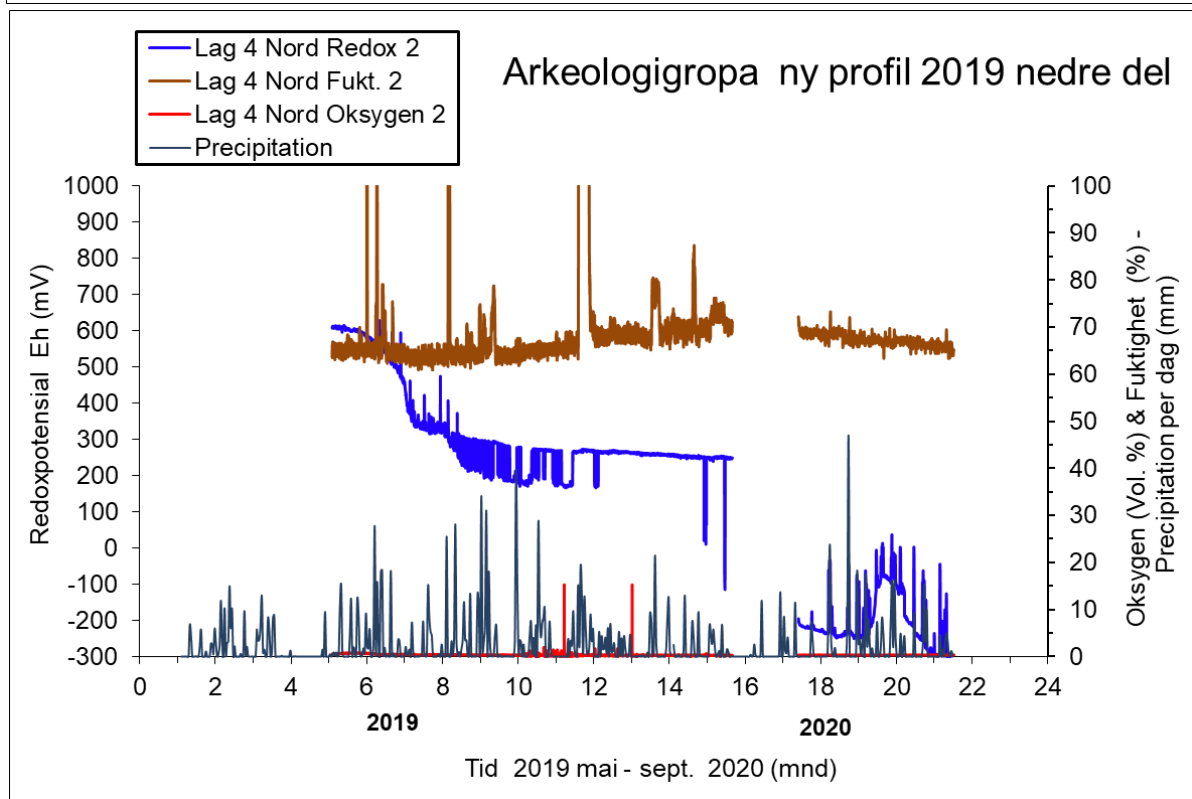
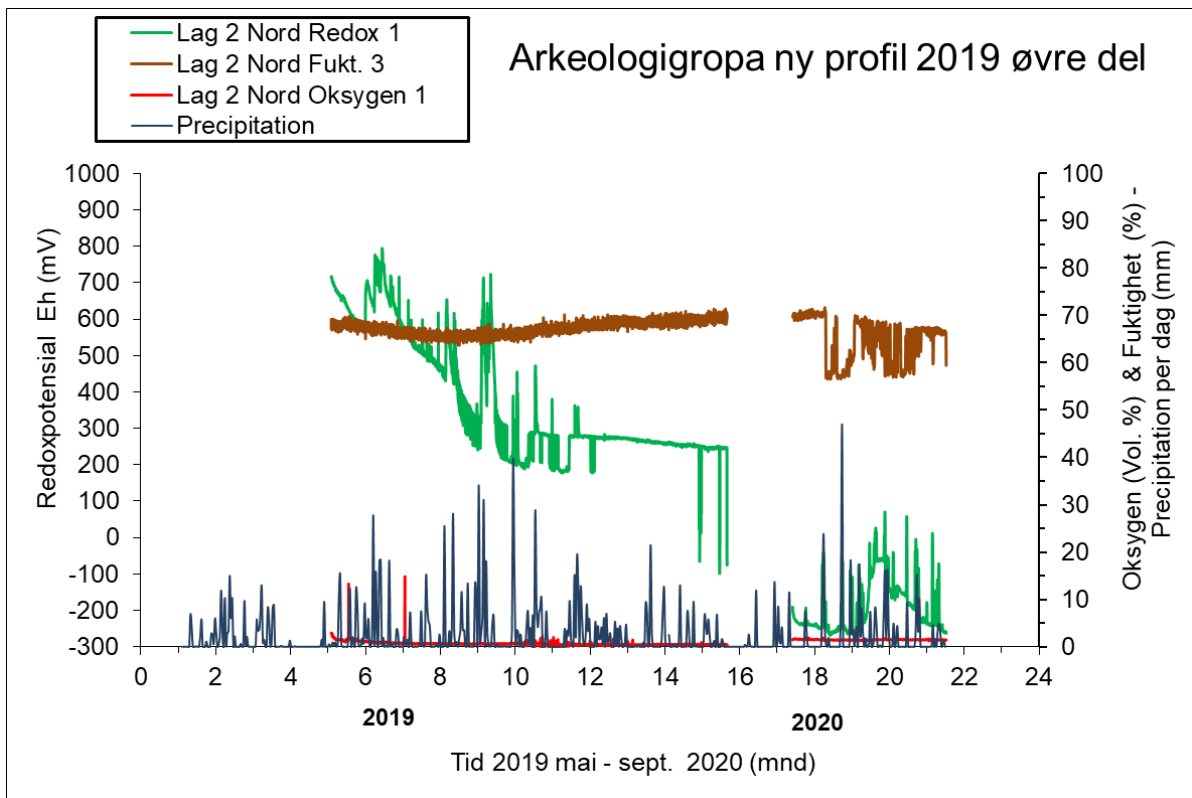
Jordfuktighet målt i fem ulike kulturlag ved Arkeologigropa sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til juni 2017.



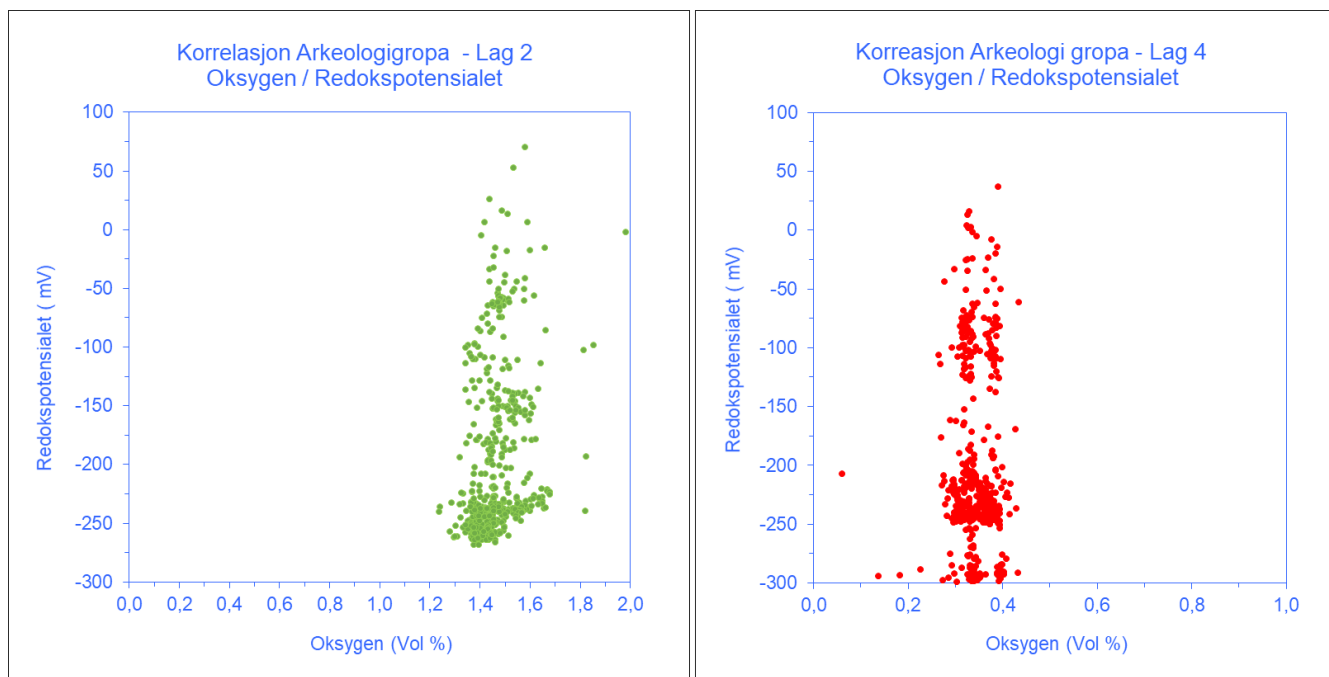
Figur 20: Jordfuktighet målt i 6 ulike kulturlag ved Arkeologigropa ny profil sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden mai 2019 til mai 2021.



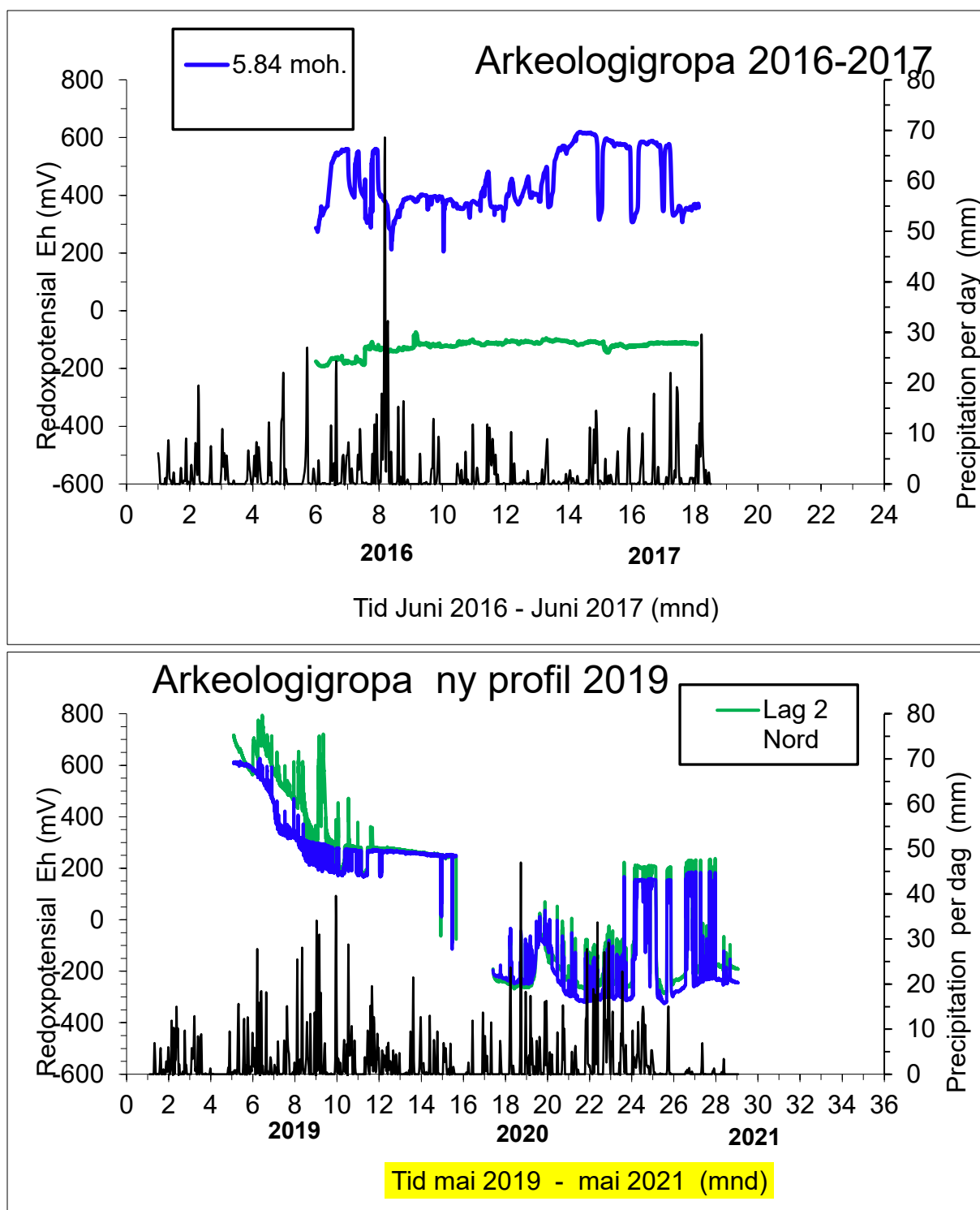
Figur 21: Oksygen målt i tre ulike kulturlag fra profil Arkeologigropa 2016-2017 sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden juni 2016 til juni 2017.



Figur 22: Redokspotensialet, oksygen og jordfuktighet målt i kulturlag fra ny profil Arkeologigropa 2019 sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i perioden mai 2019 til sept. 2020.



Figur 23: Punktdiagram og korrelasjon mellom målt redokspotensialet og innhold av oksygen i umettet profil fra to ulike kulturlag ved Arkeologigropa ny profil fra mai til sept.2020. Øvre og nede del av profilen viser begge reduserende forhold og lave Vol % oksygen. Hovedtyngden av verdiene på redokspotensialet ligger under -50mV. Vol % oksygen ligger på 1.3-1,5% i øvre kulturlag, mens nedre kulturlag viser oksygen innhold på 0.3-0.4 Vol %.



Figur 24: Redokspotensialet målt i kulturlag i hhv. gammel og ny profil Arkeologigropa sammenstilt med mm nedbør per dag i Oslo sentrum (data fra www.yr.no) i periodene juni 2016 til juni 2017 og mai 2019 til mai 2021.

Miljøovervåking ved kirkegården i Saxegaardsgata 15 viser oksiderende forhold i hele profilen. Alle gjennomsnittlige redoksverdier går fra +650 til +750mV både i øvre og nedre del av profilen. Dette er oksiderende forhold som tyder på at aktive nedbrytningsprosesser pågår. Det er i og for seg ikke overraskende, da kulturlagene her er tørre og porøse, men fortsatt verdt å notere seg, ettersom vi vet at kirkegården fortsetter videre østover. Måling av Vol % oksygen har gitt upålitelige målinger siden starten av 2018. Dette viser at det kan være tryggere å måle med gode redokssensorer også i umettede kulturlag.

Middeltemperatur i profiler er under 10 °C, noe som er gunstig for bevaring av organisk materiale. Den lave andel organisk materiale i profilen ved Saxegaardsgata vil også ha lav nedbrytingsrate på kortere sikt når middeltemperaturen ligger lavt på 7 grader og med kun enkelte sommermånedene hvor temperaturen ligger høyere mellom 13 og 19 grader. Jordfuktigheten i øvre og nedre del av profilen har sunket ned til omkring 10 % etter en nedbørfattig og varm vår og sommer 2018.

Ny profil ble etablert og nytt utstyr er blitt installert ved punkt 1, Arkeologigropa 2019. Jordtemperatur, jordfuktighet og oksygen sensorer viser så langt pålitelige verdier. Det var noe usikre målinger på redokspotensialet og pH i perioden 2019 til mai 2020, men de viser nå etter kontroll pålitelige verdier som er gunstige for bevaring av organisk materiale i profilen. Ny profil viser høy jordfuktighet fra 40-70 % og temperaturen følger årstidene. Særlig på grunn av temperatursvingningene og mye høyere redoksverdier enn i opprinnelig profil konkluderes det ut ifra jordkjemiske analyser at bevaringsforholdene i kulturlagene i ny profil ved Arkeologigropa kun har dårlige og middels bevaringsforhold for både uorganisk og organisk materiale.

Oppsummering av vurdering av bevaring:

Klypen Øst Vollgrav: Middels til utmerket bevaringstilstand; Dårlig til bra bevaringsforhold for organisk materiale, elendig til bra (men flest elendig) bevaringsforhold for uorganisk

Klypen Øst kirkegård: middels bevaringstilstand, dårlige bevaringsforhold for organisk materiale, dårlig-middels for uorganisk

Kasse 3 Arkeologigropa: Middels, bra og utmerket bevaringstilstand; dårlig, middels og bra bevaringsforhold for organisk materiale, elendig til middels for uorganisk

Kasse 4 Arkeologigropa: hovedsakelig middels + en enkelt bra og en enkelt utmerket bevaringstilstand; middels (og 1 bra) bevaringsforhold for organisk materiale; dårlig og middels (og en enkelt bra) bevaringsforhold for uorganisk materiale

Kasse 5 Arkeologigropa: middels-bra bevaringstilstand; middels til bra bevaringsforhold for organisk materiale; dårlig til middels bevaringsforhold for uorganisk materiale

Kasse 6 Klypen Vest: bra bevaringstilstand; middels til bra bevaringsforhold for organisk materiale, dårlig til middels bevaringsforhold for uorganisk materiale.

Punkt 1, Arkeologigropa profil 2016: en enkelt dårlig, en middels, resten bra bevaringstilstand; en enkelt dårlig, en middels og resten bra bevaringsforhold for organisk materiale; dårlig, middels og bra bevaringsforhold for uorganisk

Punkt 1, Arkeologigropa, ny profil 2019: dårlig til middels bevaringstilstand; dårlig, middels og bra bevaringsforhold for organisk, middels for uorganisk materiale. Generelt dårligere enn i 2016.

Punkt 2, Saxegaardsgata 15: elendig og dårlig bevaringstilstand; elendig og dårlig bevaringsforhold for organisk, middels for uorganisk materiale

Vi ser at der det er bra bevaringsforhold for organisk materiale vil forholdene for uorganisk materiale ofte være dårligere. Motsatt, om det er dårlige forhold for organisk, kan det være bra bevaringsforhold for uorganisk materiale. Et av de vesentligste resultater vi så i målingene her var effekten av at profilene ble skjermet ved å pakke dem med et tjukt lag (30–90 cm nedover i profil) ikke-marin blåleire. Dette stabiliserte både temperatur og fuktinnhold i lagene veldig raskt etter tildekkingen. Dessverre ser vi også at inngrepet i 2017 kostet både tap av måleserier og forringede bevaringsforhold for de gjenværende kulturlagene. Miljøovervåkingsprosjektet på Follobanen løper fortsatt, minimum til utgangen av 2023.

2.3.5 Samlet oppsummering for Oslo

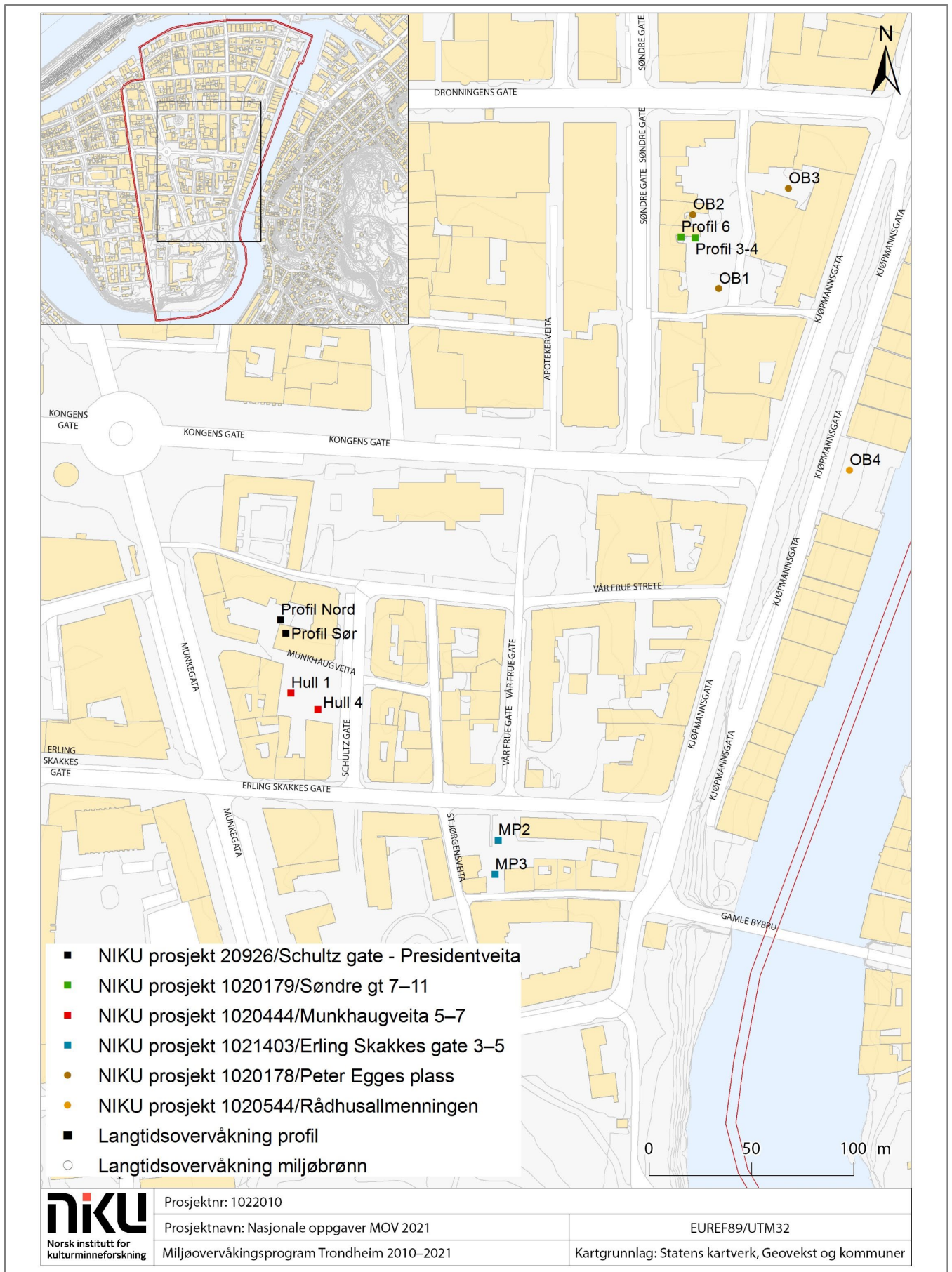
I Middelalderbyen Oslo har det i perioden 2010–2021 vært elleve aktive miljøbrønner, samt to målepunkter med sensorer installert i profil. Per 2021 er fire av fem prosjekter avsluttet. Det er svært få gjennomførte MOV prosjekter med tanke på byens størrelse og ikke minst med tanke på intensiteten i bygge- og anleggsarbeid innenfor middelalderbyens grenser. På inneværende tidspunkt er det kun to aktive overvåkingspunkter. Om man skal kunne følge med på bevaringsforholdene for kulturlagene fremover, særlig med hensyn til pågående klimaforandringer (cf Hollesen et al. 2018; Martens 2016), vil vi anbefale at det etableres flere overvåkingspunkter.

2.4 Trondheim

I Middelalderbyen Trondheim har det i perioden 2010–2021 vært fire aktive miljøbrønner, samt åtte målepunkter med sensorer installert i profil (se Figur 25). Per 2021 er 5 av 6 prosjekter avsluttet, og hvor NIKU prosjekt i Erling Skakkes gate 3–5 er eneste undersøkelse med løpende måleserier (se Tabell 66). Miljøovervåkingsprosjekter i Trondheim fram til 2010 er gjennomgått og presentert samlet i Petersén og Martens oversiktsrapport fra 2011 (Petersén & Martens 2011). Det ble i 2013 utarbeidet et forslag til en helhetlig plan for miljøovervåking av kulturlag for perioden 2013–2023, hvor forslag til prioriterte områder for kulturlagsovervåking ble fremmet (Petersén 2013).

NIKU p.nr.	RA saksnr.	Gateadresse / prosjektnavn	Miljøbrønn/-profil	Status	MOV periode
15620926	07/1482	Schultz gate - Presidentveita	Profil Nord, Profil Sør	Avsluttet	2013–2017
1020178/ 1020544	09/00422-51 09/00422-58	Peter Egges plass/ Rådhusallmenningen (Søndre gate 7–11) grunnvannsundersøkelse	OB1, OB2, OB3, OB4	Avsluttet	2015–2018
1020179	06/03482-12	Søndre gate 7–11	Profil 3, Profil 4, Profil 6	Avsluttet	2015–2020
1020403	18/01557	Erling Skakkes gate 3–5	MP2, MP3	Pågående	2019 + 5 år
1020444	07/02899-23	Munkhaugveita 5–7	Hull 1, Hull 2	Avsluttet	2015–2020

Tabell 66: Miljøovervåkingsprogrammer i Trondheim perioden 2010–2021.



Figur 25: Kart over miljøovervåkingsprogrammer i Middelalderbyen Trondheim. Kart: NIKU.

2.4.1 Schultz gate – Presidentveita

I forbindelse med realisering av en reguleringsplan for kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita og Munkegata, skulle det etableres et miljøovervåkingsprogram, med jordkjemiske analyser av kulturlag og installasjon av overvåkingsutstyr i to profiler, Profil Nord og Profil Sør (se Figur 25) (NIKU prosjektnummer 20926). Miljøovervåkingen av kulturlagene skulle sammenligne miljøforhold i kulturlag under og utenfor nybygg over tid som grunnlag for å vurdere bevaringsforholdene etter utbygging. Feltarbeidet med prøvetaking og installasjon ble gjennomført i 2012. Det har tidligere blitt gjennomført samme type analyser i området i 2007, hvor det også ble tatt prøver til jordkjemisk analyse (Petersén 2007). Måleutstyret skulle installeres i kulturlagsprofiler i denne eksisterende grøften, sist gravd opp i 2007. Måleserien løp over fem år, og ble sist rapportert i en sluttrapport som oppsummerer perioden 2013–2017 (Bergersen 2020).

Forfatter	År	Rapport nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O. & Petersén, A. H.	2013	NIKU Oppdragsrapport 151/2012 Bioforsk Rapport Vol. 8 Nr. 52, 2013	Kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita, Munkegata gnr/bnr 400/21, 102, 129, Trondheim kommune, Sør-Trøndelag, (TA 2012/25).	Arkeologisk og jordfaglig vurdering
Bergersen, O., T. E. Nytrø & Rise, Ø.	2014	Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 103, 2014	Miljøovervåking av kulturminner Kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita, Trondheim kommune, Sør-Trøndelag. Statusrapport I for perioden 2013–2014.	Statusrapport
Bergersen, O.	2016	Bioforsk Rapport Vol. 2 Nr. 64, 2016	Miljøovervåking av kulturminner i kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita, Trondheim. Statusrapport II for perioden 2013, 2014 & 2015.	Statusrapport
Bergersen, O.	2020	Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 98, 2020	Miljøovervåking av kulturminner i kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita, Trondheim - Sluttrapport 2013–2017.	Sluttrapport


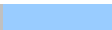


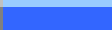
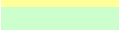


Tabell 67: Rapporter fra Schultz gate - Presidentveita.

2.4.1.1 Bakgrunn

Ved miljøprofilene navngitt Profil Nord og Profil Sør, ble det i 2012 gjennomført en forundersøkelse (NIKU prosjektnummer 15620926) med dokumentasjon av profiler og analyser av jordkjemiprøver. De undersøkte kulturlagene viste for Profil Nord stabile og gode bevaringsforhold i alle lag, mens det for Profil Sør ble dårlige til elendige bevaringsforhold (Bergersen & Petersén 2013, se Figur 26). Miljøovervåkingsutstyret i Profil Nord ga måledata fra utsiden av nytt bygg, mens det fra Profil Sør ble logget data fra under nytt bygg på tomten. Det har blitt rapportert på måledata fra disse to profilene frem til mai 2017 (se Tabell 67), sist rapportert i en sluttrapport fra Bioforsk (Bergersen & Nytrø 2012).

Profil Nord					
Dybde (moh)	Prøver Lag	Bevaring			Redoks forhold *
		Arkeologisk *	Organisk materiale	Uorganisk materiale	
10,06	1		Bra	Middels	A4
10,05	2		Utmerket	Middels	A5
9,03	3		Bra	Middels	A4

Profil Sør					
Dybde (moh)	Prøver Lag	Bevaring			Redoks forhold *
		Arkeologisk *	Organisk materiale	Uorganisk materiale	
9,69	1		Elendig	Middels	A1
9,21	2		Dårlig	Middels	A2
8,79	3		Elendig	Dårlig	A1

		Elendig til dårlig		Oksiderende forhold
		Middels		Reduserende forhold
		Bra til utmerket	*	SOPS :

Status etter Norsk Standard NS 9451:2009

Figur 26: Bevaringsforhold illustrert for Profil Nord og Profil Sør etter jordkjemiske analyser (Bergersen & Petersén 2013).

2.4.1.2 Måledata

I de to instrumenterte miljøprofilene, Profil Nord og Profil Sør, ble det overvåket parametere i temperatur, jordfukt og redoksforhold (se Tabell 68, Tabell 69 og Tabell 70).

Leverandør av MOV-tjenester var Bioforsk / NIBIO. Måledataen er sammenstilt per år, og delt inn i Profil Nord, utenfor nybygg, og Profil Sør, under nybygg.

2013 Temperatur °C	Profil Nord		Profil Sør		
	Nord 10,06 moh.	Nord 9,14 moh.	Sør 9,7 moh.	Sør 9,3 moh.	Sør 8,9 moh.
Min	3.2	3.9	5.3	4.9	5.3
Maks	7.7	9.6	9.7	9.9	9.7
Median	4.9	6.7	6.7	6.4	6.7
Gjennomsnitt	5.1	6.8	7.2	7.0	7.2

2014–april 2015 Temperatur °C	Profil Nord		Profil Sør		
	Nord 10,06 moh.	Nord 9,14 moh.	Sør 9,7 moh.	Sør 9,3 moh.	Sør 8,9 moh.
Min	3.9	5.2	8.2	8.1	7.1
Maks	8.9	11.7	11.4	11.8	14.7
Median	5.4	7.4	9.4	9.4	9.2
Gjennomsnitt	6.0	8.0	9.6	9.7	9.8

2016–2017 Temperatur °C	Profil Nord		Profil Sør		
	Nord 10,06 moh.	Nord 9,14 moh.	Sør 9,7 moh.	Sør 9,3 moh.	Sør 8,9 moh.
Min		7.9		8.0	
Maks		15.7		11.7	

Median		10.7		9.5	
Gjennomsnitt		11.6		9.7	

Tabell 68: Sammenstilling av måledata for temperatur fra 2013–2017 (Bergersen 2020).

2013 Fuktighet %	Profil Nord		Profil Sør		
	Nord 10,06 moh.	Nord 9,14 moh.	Sør 9,7 moh.	Sør 9,3 moh.	Sør 8,9 moh.
Min	45.8	49.8	29.1	34.4	36.9
Maks	54.3	56.9	37.2	52.0	52.7
Median	48.4	52.8	35.0	38.3	38.0
Gjennomsnitt	48.9	53.0	34.1	38.2	38.3
2014 –april 2015 Fuktighet %	Profil Nord		Profil Sør		
	Nord 10,06 moh.	Nord 9,14 moh.	Sør 9,7 moh.	Sør 9,3 moh.	Sør 8,9 moh.
Min	46.0	49.5	33.9	37.4	36.9
Maks	53.5	58.9	38.7	47.5	39.8
Median	48.0	52.9	35.9	42.0	38.4
Gjennomsnitt	48.6	53.1	36.2	41.8	38.4
2016–2017 Fuktighet %	Profil Nord		Profil Sør		
	Nord 10,06 moh.	Nord 9,14 moh.	Sør 9,7 moh.	Sør 9,3 moh.	Sør 8,9 moh.
Min		53.5		42.5	
Maks		62.7		51.9	
Median		57.8		44.1	
Gjennomsnitt		57.7		44.6	

Tabell 69: Sammenstilling av måledata for jordfukt fra 2013–2017 (Bergersen 2020).

2013 Redoks mV	Profil Nord 8,9 moh.	Profil Sør 8,95 moh.
Min	-513	81
Maks	461	350
Median	-358	170
Gjennomsnitt	-306	162
2014 Redoks mV	Profil Nord 8,9 moh.	Profil Sør 8,95 moh.
Min	-413	89
Maks	-182	288
Median	-332	182
Gjennomsnitt	-318	187
Jan–april 2015 Redoks mV	Profil Nord 8,9 moh.	Profil Sør 8,95 moh.
Min	-344	123
Maks	-226	174
Median	-293	159
Gjennomsnitt	-289	158

Tabell 70: Sammenstilling av måledata for redoksforhold fra 2013–2015 (Bergersen 2020).

2.4.1.3 Avvik

Overvåking av kulturlag utenfor og under nybygg i Schultz gate, Trondheim har gitt data og kunnskap fra 2012 til og med slutten av 2017. Underveis i hele prosjektperioden hadde Bioforsk / NIBIO

problemer med utstyr som ga upålitelige data, samt at det var dårlig overføring av data over mobilnett. Dette skyldes fuktighet og korrosjon på utsyr som ble plassert i kum under bakken i stedet for skap på husvegg (Bergersen 2020). Under bearbeiding av data våren 2014 oppdaget NIBIO at ledningene fra Profil Nord sin sensor nr. 1 (10,06 moh.) jordfuktighet og jordtemperatur inn til logger høyst sannsynlig ble byttet om etter kabelbrudd. Data foreligger, og ble omregnet slik at dette blir riktig til feilen er rettet opp. Alle sensorer virket og ga pålitelige data fra start 2013 tom. mai 2015, med unntak av sensor nr. 1 (10,06 moh.) i Profil Nord. I juni 2015 ble det oppdaget ustabilitet i strømforsyning. Ved tilsyn september 2015 ble det ikke påvist data i loggeren som var pålitelig. Dette skyldes mest sannsynlig at datastrøm til logger var brutt og at loggeren var ødelagt pga. fuktskader.

Høsten 2015 ble det satt inn ny logger. På angitte tidspunkt fikk ikke loggeren signaler fra redoks sensorene. Dette skyldes trolig også at MET Controller, som mottar og forsterker signalene fra sistnevnte sensorer, også var skadet. Nytt utstyr ble innsatt desember 2015. Da viste det seg at også met kontrolleren i kontakt med ny logger satt inn i september for jordtemperatur og jordfuktighet var skadet. Den nye enheten ble da prioritert koblet opp for fukt/temp. målinger. Dette medfører at data fra redoks målingene fortsatt ikke virket.

Dette medførte at det mangler data fra april til desember 2015, pluss at flere av sensorene ikke har målt troverdige resultater. I hovedsak var det på grunn av fukt- og korrosjonskader på utstyret som ble plassert i vannrett metallboks senket i en kum ned i bakken. Fra desember 2015 og ut måleperioden 2017 har vi mottatt logiske data fra 2 jordtemperatur og jordfuktighetssensorer, men ingen redoksverdier fra de to siste år.

2.4.1.4 Resultater

Prosjektet og måledataene fra miljøprofilene Profil Nord og Profil Sør ble sist rapportert i 2020, hvor resultater fra perioden 2013 til ut 2017 ble oppsummert og redegjort for (Bergersen 2020). Måleparameterne var temperatur, jordfuktighet og redoksforhold.

Temperaturen fra målingene i 2013 da nybygget ikke var ferdigstilt viste små forskjeller mellom Profil Nord og Profil Sør. Gjennomsnitt og medianen ble beregnet til omkring 5 og 7°C i 2013, mens den i 2014 viste temperatur på 9,6°C (9,7 moh.) i Profil Sør, som ligger tett opp til nytt bygg. I Profil Nord utenfor nytt bygg var temperaturen lavere på 6°C ved øvre lag på 10,1 moh. i 2014. Forskjellene i beregnet gjennomsnittlig jordtemperatur i øvre del av Profil Nord utenfor nybygg sammenlignet med Profil Sør under nybygg var ca. 2°C i 2013 og ca. 3,3°C i 2014.

Ved å sammenligne maks temperatur i begge profiler i de ulike år, viste målingene at den er ulik profilene seg imellom i årene 2013 til april 2015 på 10–12°C ved 9,14 moh. Profil Nord og 9,3 moh. Profil Sør.

Maks jordtemperatur beregnet fra 2016 til juli 2017 i de samme kulturlagene som nevnt over, måles en økning Profil Nord med 4°C høyere temperatur til 15,7°C mot 11,7°C i Profil Sør. Dette er ikke gunstig med tanke på bevaring av organisk materiale hvis luft trenger inn. Målingene viste også noe høyere gjennomsnitt temperaturer fra 2016 til juli 2017 i Profil Nord ved 9,14 moh. enn beregnet fra de tidligere år, mens dette var mer uforandret ved 9,3 moh. ved Profil Sør under nybygg.

Beregninger ved måleperiodens slutt viste at gjennomsnitttemperatur ute (Profil Nord) hadde steget 3–4°C sammenlignet med de foregående årene. Under nytt bygg (Profil Sør) lå gjennomsnitt / medianverdien på 9,7 / 9,5°C. Dette viser at temperaturen ikke har steget vesentlig i kulturlagene under nytt bygg.

Jordfuktigheten i kulturlagene i Profil Nord og Profil Sør var stabile, men det ble påvist generelt høyere jordfuktighet i Profil Nord utenfor nybygg (omkring 48–50 %) over alle år, sammenlignet med Profil Sør (omkring 36–40 %) beregnet som median og gjennomsnittverdier.

Jordfuktigheten var høyest ved 9,14 moh. i Profil Nord og ble beregnet til gjennomsnittlig 53 % de første tre år, men økte til 58 % siste perioden 2016 til 2017. I øvre del av Profil Sør under nybygg ble det målt noe høyere jordfuktighet i kulturlagene, på 9,7 og 9,3 moh. Det øvre laget på 9,7 moh. viste en svak økning i jordfuktigheten fra 35–38 % i starten, mens det midterste laget på 9,3 moh. økte ytterligere fra 38 % tidligere til 46 % i 2017. NIBIO tolker dette dit hen at høyere nedbørsperioder i 2017 har gitt denne økning og at infiltrasjon av takvann har virket positivt. Kulturlaget i det dypeste kulturlag ved 8,9 moh. har vist stabil jordfuktighet på 38 % i hele overvåkingsperioden.

Gjennomsnittverdien til redokspotensialet i de ulike år av overvåkingsperioden ble beregnet til -306, -318 og -287mV i Profil Nord. Stabil høy fuktighet henger ofte sammen med hvor gode bevaringsforhold man har og hvilket redokspotensialet som oppstår i kulturlagene. Etter både lave og nedbørsrike perioder kan det slås fast at redoksforholdene i kulturlagene i Profil Nord ikke har forandret seg mye, men har heller stabilisert seg noe i de 3 årene sensorene virket 2013, 2014 og 2015.

I Profil Sør, hvor jordfuktigheten var lavere (38 %), ble redoksforholdene målt med positivt fortegn, hvor gjennomsnittet ble beregnet til +162, +187 og +158mV fra de tre år av overvåkingen da sensorene virket. Disse verdier tilsier lavt oksygeninnhold i profilet (målinger er lavere enn +200mV).

Målinger fra Profil Sør viste stabil jordfuktighet ved 8,9 moh. og at redoksforholdene steg noe i løpet av 2014. Jordfuktigheten økte fra 38 % til 45 % de siste to årene av overvåkingen ved 9,3 moh.

Hvorvidt redokspotensial har sunket eller ikke pga. høyere fuktighet 40 cm høyere oppe i profilen lot seg ikke besvare, da redokssensorene sluttet å virke i våren 2015. NIBIO kan ikke si med sikkerhet om ekstra infiltrasjon av regnvann fra tak har fordelt seg i hele profilen, siden flere av fukt- / temperatursensorene på 9,7 og 8,9 moh. også sluttet å gi logiske og troverdige resultater de siste to årene frem til overvåkningen avslutning i 2017.

Repetert profilundersøkelse med tilstandsvurdering og prøvetaking 2007 og 2012; installert utstyr i to profiler 2013-2017, en under og en utenfor planlagt bygning. Det ble påvist små forskjeller. Gjennomsnittstemperatur i kulturlagene under bygningen ble stabilisert under 10°C, mens temperaturen i lagene utenfor bygningen økte. Det gjorde dog også vanninnholdet, hvilket kompenserer for temperaturstigningen. I begge profiler ble det målt stabilt lave redoksverdier. Her ser vi vesentligheten av tett oppfølging av utstyr. I dette prosjektet har det vært utrolig mye inntrengning av fukt, batterisvikt, feilkoblinger og andre problemer, som til sammen har gitt usammenhengende måleserier og usikre eller manglende data. En tettere oppfølging av utstyr bør kunne motvirke eller avbøte den typen negative konsekvenser og dermed sikre mere sammenhengende overvåkingsdata.

2.4.2 Peter Egges plass og Rådhusallmenningen – grunnvannsundersøkelse

I forbindelse med Riksantikvarens kartlegging av forhold for tilstand- og bevaring for kulturlag og undersøkelser av grunnvannsforhold i Middelalderbyen Trondheim (NIKU prosjektnummer 1020178 og 1020544), ble det etablert tre miljøbrønner ved Peter Egges Plass (OB1, OB2 og OB3) og en på Rådhusallmenningen (OB4) (se Figur 25). Brønnene på Peter Egges Plass ble boret i mai/juni 2015, mens den på Rådhusallmenningen ble boret i mars 2017 (se Tabell 71). Grunnvannsnivå- og mengde ble målt årlig i perioden 2015, 2017 og 2018, og vannkjemi ble analysert i 2015 og 2018 (Gaut 2017, 2019).

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Petersén, A. H.	2017	NIKU Oppdragsrapport 161/2015	Grunnboringer og installasjon for måling av grunnvann, Peter Egges Plass, Søndre gate 9 og Krambugt. 2, Trondheim, Sør-Trøndelag. TA 2015/27.	Arkeologisk og jordfaglig vurdering

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Gaut, S.	2017	SWECO rapport 585811-R01	Miljøovervåking kulturlag Trondheim. Etablering av overvåkingsbrønner ved Peter Egges plass i Trondheim. SWECO rapport 585811-R01.	Grunnvannsovervåking
Gaut, S.	2019	SWECO rapport 585811-R02	Miljøovervåking kulturlag Trondheim. Etablering av overvåkingsbrønn på Rådhusallmenningen i Trondheim. SWECO rapport 585811-R02.	Grunnvannsovervåking
Petersén, A. H., Halvorsen, I.	2020	NIKU Oppdragsrapport 38/2017	TA 2017/ 03, Rådhusallmenningen/Nedre Kjøpmannsgata – MOV, nedsetting av miljøbrønn med kartlegging av kulturlagstilstand og vannforhold Trondheim.	Arkeologisk og jordfaglig vurdering

Tabell 71: Rapporter fra Peter Egges plass og Rådhusallmenningen.

2.4.2.1 Bakgrunn

Ved borepunkt OB1, OB2 og OB3 ble det i 2015 foretatt en forundersøkelse (NIKU prosjektnummer 1020178) med boring og dokumentasjon av boresøyler og jordkjemiprøver (Petersén 2007, 2017; Petersén & Halvorsen 2020). De undersøkte kulturlagene viste stabile og gode bevaringsforhold i alle lag.

På Rådhusallmenningen ble det i 2017 etablert en ytterligere brønn, OB4, hvor det i 2017 også ble gjennomført en forundersøkelse (NIKU prosjektnummer 1020544) med boring og dokumentasjon av en boresøyle og uttak av jordkjemiprøver (Petersén 2017; Petersén og Halvorsen 2020). Grunnvannsstanden for OB4 ble målt til 2,8 m under terreng på kote +0,68 m, og kulturlagene ligger i fluktasjonszone og i mettet sone. Boringene påviste at kulturlagene fra ca. 2,6 m under overflaten tilsvarende kote ca. +0,8 m og dypere var godt bevart. Kulturlag over dette var dårlig bevart, men materialet over kote +0,8 m består i hovedsak av masse fra nyere tid. Resultatene fra vannprøvene og grunnvannsmålinger er rapportert av SWECO i rapporter i 2017 og i 2019 (Gaut 2017, 2019).

2.4.2.2 Måledata

Fra fire miljøbrønner, navngitt OB1, OB2, OB3 og OB4 (opprettet i 2018), ble det tatt vannprøver i to omganger, i 2015 og senere i 2018, hvor grunnvannsstand og ulike parametere ble målt/analysert, som blant annet temperatur, oksygen, ledningsevne og pH (se Tabell 72, Tabell 73 og Tabell 74). Leverandør av MOV-tjenester var SWECO AS. Det ble ikke observert kulturlag i OB3, kun moderne fyllmasser.

Grunnvannsstand moh. 2015–2018				
Dato	OB1	OB2	OB3	OB4
01.06.2015		2,02	1,88	i.a.
13.06.2015	2,09		1,91	i.a.
01.07.2015	2,06	2,22	1,91	i.a.
16.09.2015	2,02	2,07	1,88	i.a.
13.10.2015	2,03	2,18	1,89	i.a.
16.03.2017	2,40	2,44	2,54	0,48
15.06.2018	1,95	1,88	1,90	0,59
27.06.2018	1,95	1,87	1,88	0,68

Tabell 72: Sammenstilling av måledata fra 2015–2018 (Gaut 2019).

Parameter 2015	Måleenhet	OB1	OB2	OB3
Temperatur	°C	11,5	10,6	13,9
Oksygenmetning	DO %	8	6,5	6,2
Ledningsevne	µS/cm	996	800	604
pH	--	--	6,9	7,9

Parameter 2015	Måleenhet	OB1	OB2	OB3
Alkalitet til pH4,5	mmol/l	8,7	4	2,4
Syrenøytraliserende kapasitet	µekv/l	7700	3500	1800
TOC	mg/l	37	55	9,2
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	7,4	2,1	17
Klorid (Cl)	mg/l	19	31	84
Mangan (Mn)	µg/l	450	990	95
Fosfat (PO ₄ -P)	µg/l	710	1600	930

Tabell 73: Sammenstilling av måledata fra 2015–2012 (Gaut 2019).

Parameter 2018	Måleenhet	OB1	OB2	OB3	OB4
Temperatur	°C	(11,7)/11,3	(10,5)/ -	(8,4)/8,5	(10,6)/11,4
Ledningsevne	µS/cm	(554)/544	(472)/493	(176)/184	(1582)/1484
pH	--	(6,8)/6,9	(6,2)/6,5	(6,7)/6,8	(6,3)/6,5
Alkalitet til pH4,5	mmol/l	5,5	3,5	1,4	5,6
Syrenøytraliserende kapasitet	µekv/l	3500	2900	1200	4400
TOC	mg/l	3,9	140	2,3	6,9
Nitrat (NO ₃ -N)	µg/l	1500	920	670	<5
Klorid (Cl)	mg/l	16	20	9,1	130
Mangan (Mn)	µg/l	6,8	2900	0,44	890
Fosfat (PO ₄ -P)	µg/l	710	1700	500	1600
Sulfat (SO ₄)	mg/l	100	76,9	14	374

Tabell 74: Sammenstilling av måledata fra 2015–2012 (Gaut 2019).

2.4.2.3 Resultater

Prosjektet og måledataene fra miljøbrønnen tilknyttet Peters Egges Plass (Søndre gate 7–11) og Rådhusallmenningen ble rapportert i en NIKU oppdragsrapport i 2020, samt i rapporter fra SWECO i 2017 og 2019 hvor resultater fra 2015 til 2018 ble oppsummert og redegjort for (Gaut 2017; 2019).

Grunnvannsstanden i området ble vurdert til å være relativt stabil, men da det er utført få målinger er det ikke mulig å avdekke årstidsvariasjoner. Det antas at brønn OB4 ved Nidelva, er vel så mye påvirket av flo og fjære som årstidsvariasjoner. Basert på målingene i 2015 av grunnvannstanden ved brønnene OB1–OB3, ble det tolket dit hen at grunnvannet i området heller svakt mot øst i retning Kjøpmannsgata, omtrent parallelt med Schjoldagerveita (beregnet gradient er her 0,006). Målingene utført i 2017 og 2018 kan tyde på at dette er noe endret, da vannstanden da var lavest i brønn OB2. Endringene skyldes i så fall en kombinasjon av arkeologiske utgravninger og etablering av nytt kontorbygg ved OB2. Vannstandsmålingene i 2015, 2017 og 2018 er vist i Tabell 72.

Grunnvannstanden fra juni til oktober har ligget stabilt på 6,5–6,8 m under terreng. Vannet ser ut til å strømme østover mot Nidelva.

Brønnene ble tømt, og målt for vannmengde, den 30. september 2015 for å gjøre klart til prøvetaking. OB2 hadde da svært lite vann og ble tømt på kort tid. Vannet var grått og inneholdt mye silt og leirpartikler. I OB1 var det mulig å pumpe i 5 min. uten nevneverdige problemer, men vannstrømmen var liten. Størst vannmengde og klarest vann ble observert i OB3. Her ble det pumpet i 10 min, uten at vannmengden avtok; grå farge på vannet i starten, noe klarere etter hvert. Total utpumpet vannmengde i brønnene ble ikke målt. Det ble tatt en vannprøve fra hver brønn den 13. oktober 2015. Oksygeninnhold, konduktivitet og pH ble målt i felt. Resultatene viste at vannet fra OB1 har høyest alkalinitet og syrenøytraliserende kapasitet. Høyest innhold av totalorganisk karbon (TOC), mangan, jern og fosfat observeres i OB2. Høyest nitrat- og kloridinnhold observeres i OB3. Vannet hadde også lavest TOC og syrenøytraliserende kapasitet. Den relativt høye temperaturen som ble målt kan

skyldes en kombinasjon av liten vannmengde og dermed større oppvarming gjennom pumpa og at prøvene er tatt om høsten, da grunnvannstemperaturen er høyest.

Generelt består løsmassene i området av ca. 1 m fyllmasser over opptil 4 m kulturlag før man kommer ned i sand, silt og leire. Ved OB3 er eventuelle gamle kulturlag fjernet i forbindelse med oppføringen av Peter Egges Plass 2 og eventuelt Kjøpmannsgata 32. Her er det moderne fyllmasser ned til 4–5 m dybde.

Vannkjemien gjenspeiler at det i OB3 ikke ble påvist kulturlag. Her er det lav syrenøytraliserende kapasitet og TOC sammenliknet med de andre brønnene. Forskjellene i mangan, klorid og nitrat er sannsynligvis også forårsaket av det samme. I en sammenligning av vannprøvene fra høsten 2015 og 2018, observeres det at i 2018 fortsatt var høyest innhold av totalorganisk karbon (TOC), mangan, jern og fosfat i OB2. Verdiane målt i OB4 er lavere enn for OB2, men høyere enn det som måles i OB1 og OB3. Høyest alkalinitet og syrenøytraliserende kapasitet ble i 2015 observert i OB1. Vannprøvene fra juni 2018 viser at verdiene for OB1 fortsatt er høyere enn for OB2 og OB3, men lavere enn for OB4. Innholdet av nitrat har endret seg mye sammenliknet med resultatene fra 2015. Generelt har nitratinholdet sunket, spesielt i OB3, og den høyeste verdien ble i 2018 målt i OB1. Vannet fra OB4 inneholder omtrent ikke nitrat (< 5 µg/l). Brønnvannet inneholder derimot klorid. Dette er ikke uventet, da brønnen ligger nær Nidelva og sannsynligvis blir påvirket av tidevann som går opp elva. Sammenliknet med verdiene fra 2015 har innholdet av klorid sunket noe i de andre brønnene, spesielt i OB3.

Tre miljøbrønner etablert 2015, en fjerde i 2017. Det ble tatt årlige målinger av grunnvannstand, og vannkjemi ble analysert i 2015 og 2018. I disse brønnene er det svært varierende og ustabile forhold. Det er minst relevant i OB3, der det uansett ikke er bevarte kulturlag, men for de andre overvåkingspunktene ser man at selv om grunnvannstand er noenlunde stabil, så er særlig punktet nærmest elven, OB4, direkte påvirket av tidevannet. Dette har betydning for grunnvannskjemien og for bevaringsforholdene for inntilliggende kulturlag. Med økt saltnivå forringes bevaringsforhold, særlig for metallgjenstander.

2.4.3 Søndre gate 7–11

Som en del av vedtatt reguleringsplan i 2015 for Søndre gate 7–11, Krabugata 4, Peter Egges plass m. fl., skulle det utformes en plan for et miljøovervåkingsprosjekt i dette området. Prosjektet skulle også inngå i Riksantikvarens kartlegging av forhold for tilstand- og bevaring for kulturlag og undersøkelser av grunnvannsforhold i Middelalderbyen Trondheim. I 2015 ble det gravet ut flere profiler på tomten Søndre gate 7–11 (Petter Egges plass) (se Figur 25). I tre profiler ble det installert overvåkingsutstyr som skulle overvåke hvordan kulturlag fra dette automatiske fredete området av middelalderbyen Trondheim bevares over tid *in situ*. I tillegg er det analysert jordprøver fra de områder hvor sensorene ble plassert for å få kunnskap om hvordan bevaringsforholdene var i kulturlagene før overvåkingen startet (NIKU prosjektnummer 1020179). Måleserien løp over fem år, fra 2015–2020. Boligbygging nær kulturminner i jord kan påvirke jordtemperatur, hydrologi og oksygentilgang. Undersøkelsen skulle fremskaffe data som kan gi et grunnlag for å vurdere stabilitet i bevaringsforhold over tid og spesielt som følge av utbygging av deler av tomta i den aktuelle måleperioden.

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Petersén, A. H.	2007	NIKU Rapport TA2007/10	Søndre gate 5 – 11, Dronningens gate 1B, Petter Egges Plass, Trondheim kommune, Sør-Trøndelag Fylkeskommune. Arkeologisk forundersøkelse (tilstandsvurdering av kulturlag) i forbindelse med forslag til reguleringsplan.	Arkeologisk forundersøkelser

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Bergersen, O., Hartnik, T.	2007	Bioforsk Rapport Vol. 2 Nr. 103, 2007	Bevaringsforhold i kulturlag ved Petter Egges Plass, TA 200710, Trondheim. Jordfaglig vurdering av miljøforhold på bakgrunn av laboratorieanalyser.	Jordkjemisk analyse/forund ersøkelse
Petersén, A. H., Brink, K.	2018	NIKU Rapport 27/2018	TA 2017/08 Arkeologisk undersøkelse med vurdering av forhold for tilstand og bevaring i forbindelse med pelefundamentering og graving for fundamenteringsgrøfter Søndre gate 7 – 11, Trondheim, Trøndelag.	Arkeologisk undersøkelse, vurdering av bevaringstilsta nd
Bergersen, O.	2017	NIBIO Rapport Vol. 3 Nr. 67, 2017	Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim. Statusrapport I (september 2015 – november 2016).	Statusrapport
Bergersen, O.	2018	NIBIO Rapport 17/01475	Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim. Statusrapport II (september 2015 – november 2017).	Statusrapport
Bergersen, O.	2018	NIBIO Rapport Vol. 4 2018	Jordkjemisk forundersøkelse av Peleprøver fra middelalderen på tomten Søndre gt. 7-11 i Trondheim.	Jordkjemisk analyse/forund ersøkelse
Bergersen, O., T. E. Nytrø, Muthulingam, S., Johansen, Ø.	2019	NIBIO Rapport Vol. 5 2019	Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim. Statusrapport III (september 2015 til mars 2019).	Statusrapport
Bergersen, O.	2021	NIBIO Rapport Vol. 7 Nr. 19, 2021	Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim. Sluttrapport 2015 til 2020.	Sluttrapport
Sæhle, I. A. Petersén, P. Wood, N.E: Valstrand, K. Brink, K. Lorvik	2021	NIKU Rapport 97	Arkeologiske undersøkelser i Søndre gate 7-11, Peter Egges Plass, Krambugata 2-4 m.fl., Trondheim, Trøndelag (TA 2016/21, TA 2017/03). Landskapsutvikling, tidlig urban aktivitet og middelaldersk kirkested.	Arkeologisk undersøkelse

Tabell 75: Rapporter fra Søndre gate 7–11 MOV.

2.4.3.1 Bakgrunn

Ved miljøprofilene navngitt Profil 3, Profil 4 og Profil 6, ble det i 2007 gjennomført forundersøkelser med dokumentasjon av profiler og analyser av jordkjemiprøver (Petersén 2007). De undersøkte kulturlagene viste at i denne delen av middelalderbyen ble det påvist tykke godt bevarte kulturlag. NIKU har brukt disse resultatene som en del av grunnlaget for vurdering av egnet sted for planlagt miljøovervåkningsprosjekt. Høsten 2015 ble det installert overvåkingsutstyr i tre profiler. Sluttrapporten for prosjektet ble ferdigstilt i 2021 (se Tabell 75), hvor det ble oppsummert og redegjort for resultater for måleperioden fra 2010–2015 (Bergersen 2021). Rapport for den arkeologiske undersøkelsen ble ferdigstilt i 2021 (Sæhle et al. 2021).

2.4.3.2 Måledata

Tre miljøprofiler, Profil 3, Profil 4 og Profil 6, ble instrumentert med multiparametersonde for overvåking av temperatur, jordfukt og redoksforhold (se Tabell 76, Tabell 77, Tabell 78, Tabell 79, Tabell 80, Tabell 81 og Tabell 82). Leverandør av MOV-tjenester var NIBIO.

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

Tabell 76: Sammenstilling av måledata fra 2015–2018 (Bergersen 2021).

Temperatur °C 2019	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3	
	Temp. 1 8.10 moh. Høyre side	Temp. 2 7.95 moh. Venstre side	Temp. 3 7.45 moh. Venstre side	Temp. 4 7.90 moh. Høyre side	Temp. 5 7.75 moh. Høyre side	Temp. 6 7.50 moh. Høyre side	
	Min	2,2	2,5	3,7	6	4	–
	Maks	13,7	11,8	10,9	14	13,3	–
	Median	7,8	5,3	6,4	10,7	8,7	–
Gjennomsnitt	7,7	6,4	6,8	10	8,8	–	
Temperatur °C 2020	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3	
	Temp. 1 8.10 moh. Høyre side	Temp. 2 7.95 moh. Venstre side	Temp. 3 7.45 moh. Venstre side	Temp. 4 7.90 moh. Høyre side	Temp. 5 7.75 moh. Høyre side	Temp. 6 7.50 moh. Høyre side	

Min	5,4	3,4	3,2	6,7	6,7	–
Maks	18,6	18,6	14,7	14,7	14,7	–
Median	10,0	12,9	8,9	10,6	12,5	–
Gjennomsnitt	10,1	10,7	7,9	10,7	11,4	–

Tabell 77: Sammenstilling av måledata fra 2019–2020 (Bergesen 2021).

Fuktighet % 2015–2016	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
		Fukt. 1 8.10 moh. Høyre side	Fukt. 2 7.95 moh. Venstre side	Fukt. 3 7.45 moh. Venstre side	Fukt. 4 7.90 moh. Høyre side	Fukt. 5 7.75 moh. Høyre side
Min	31,8	38,8	36,4	18,3	22,9	19,1
Maks	37,3	45,1	76,9	25,2	26,7	25,8
Median	34	42,0	37,9	20,8	25,0	20,3
Gjennomsnitt	33,8	42,0	40,5	21,2	25,1	20,5
Fuktighet % 2017	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
		Fukt. 1 8.10 moh. Høyre side	Fukt. 2 7.95 moh. Venstre side	Fukt. 3 7.45 moh. Venstre side	Fukt. 4 7.90 moh. Høyre side	Fukt. 5 7.75 moh. Høyre side
Min	34,3	40,2	36,1	–	–	–
Maks	36,7	45,7	76,9	–	–	–
Median	35,3	42,6	38,7	–	–	–
Gjennomsnitt	35,3	42,7	39,3	–	–	–
Fuktighet % 2018	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
		Fukt. 1 8.10 moh. Høyre side	Fukt. 2 7.95 moh. Venstre side	Fukt. 3 7.45 moh. Venstre side	Fukt. 4 7.90 moh. Høyre side	Fukt. 5 7.75 moh. Høyre side
Min	33,0	39,6	36,1	–	–	–
Maks	38,6	46,0	53,5	–	–	–
Median	36,1	42,0	37,9	–	–	–
Gjennomsnitt	35,9	42,0	38,2	–	–	–

Tabell 78: Sammenstilling av måledata fra 2015–2018 (Bergesen 2021).

Fuktighet % 2019	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
	Fukt. 1 8.10 moh. Høyre side	Fukt. 2 7.95 moh. Venstre side	Fukt. 3 7.45 moh. Venstre side	Fukt. 4 7.90 moh. Høyre side	Fukt. 5 7.75 moh. Høyre side	Fukt. 6 7.50 moh. Høyre side
Min	34,9	40,2	37,9	–	–	–
Maks	39,2	48,3	72,5	–	–	–
Median	38,0	43,3	38,8	–	–	–
Gjennomsnitt	38,0	43,3	39,1	–	–	–

Tabell 79: Sammenstilling av måledata fra 2019 (Bergersen 2021).

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

Tabell 80: Sammenstilling av måledata fra 2020 (Bergersen 2021).

Redoxforhold mV 2015–2016	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 3
	Redox 1 Ny 8.10 moh. Høyre side	Redox 2 Ny 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 Ny 7.35 moh. Høyre side	Redox 4 Ny 7.75 moh. Høyre side	Redox 5 Ny 7.35 moh. Høyre side
Min	239	-75	-458	424	147
Maks	531	405	446	863	688
Median	391	329	295	588	434
Gjennomsnitt	390	322	251	600	448
Redoxforhold mV 2017	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 3
	Redox 1 Ny 8.10 moh. Høyre side	Redox 2 Ny 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 Ny 7.35 moh. Høyre side	Redox 4 Ny 7.75 moh. Høyre side	Redox 5 Ny 7.35 moh. Høyre side
Min	338	246	-26	436	209
Maks	434	297	251	743	307
Median	405	275	235	577	260
Gjennomsnitt	408	303	276	342	373
Redoxforhold mV 2018	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 3
				Redox 4 Ny 7.75	

	Redox 1 Ny 8.10 moh. Høyre side	Redox 2 Ny 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 Ny 7.35 moh. Høyre side	moh. Høyre side	Redox 5 Ny 7.35 moh. Høyre side
Min	358	202	184	236	220
Maks	416	261	302	285	511
Median	399	249	218	274	398
Gjennomsnitt	397	247	227	271	378
Redoxforhold mV 2019	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 3
	Redox 1 Ny 8.10 moh. Høyre side	Redox 2 Ny 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 Ny 7.35 moh. Høyre side	Redox 4 Ny 7.75 moh. Høyre side	Redox 5 Ny 7.35 moh. Høyre side
Min	379	239	198	246	348
Maks	519	397	423	304	649
Median	412	344	311	285	435
Gjennomsnitt	416	325	304	284	443
Redoxforhold mV 2020	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 3
	Redox 1 Ny 8.10 moh. Høyre side	Redox 2 Ny 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 Ny 7.35 moh. Høyre side	Redox 4 Ny 7.75 moh. Høyre side	Redox 5 Ny 7.35 moh. Høyre side
Min	404	375	328	279	340
Maks	445	411	387	311	383
Median	427	392	355	291	356
Gjennomsnitt	428	393	356	293	357

Tabell 81: Sammenstilling av måledata for redoksforhold fra 2015–2020 (Bergersen 2021).

Redoxforhold mV 2015–2016	Profil 6	Profil 6	Profil 6
	Redox 1 8.07 moh. Høyre side	Redox 2 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 7.45 moh. Venstre side
Min	220	323	–
Maks	860	865	–
Median	539	519	–
Gjennomsnitt	493	517	–
Redoxforhold mV 2018	Profil 6	Profil 6	Profil 6
	Redox 1 8.07 moh. Høyre side	Redox 2 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 7.45 moh. Venstre side
Min	-19	-201	-91
Maks	137	174	139

Median	30	130	-31
Gjennomsnitt	32	118	-26
Redoxforhold mV 2019	Profil 6	Profil 6	Profil 6
	Redox 1 8.07 moh. Høyre side	Redox 2 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 7.45 moh. Venstre side
Min	33	-79	-57
Maks	99	218	12
Median	59	202	-38
Gjennomsnitt	58	199	-35
Redoxforhold mV 2020	Profil 6	Profil 6	Profil 6
	Redox 1 8.07 moh. Høyre side	Redox 2 7.95 moh. Venstre side	Redox 3 7.45 moh. Venstre side
Min	38	205	-47
Maks	96	219	8
Median	63	217	-16
Gjennomsnitt	62	215	-18

Tabell 82: Sammenstilling av måledata for redoksførhold fra 2015–2020 (Bergersen 2021).

2.4.3.3 Avvik

Målesensorene har gitt fornuftige resultater i måleperiodens første år fra september 2015 til oktober 2016. Etter den tid har vi observert feil ved verdier som gav avvik i målingene. Sensor 6, temperatur og fuktighet (7,50 moh.) i Profil 3 sluttet å gi pålitelige verdier fra 5. oktober 2016, og har høyst sannsynlig gått i stykker.

Temp/fukt Sensor 4 (7,90 moh.) og sensor 5 (7,75 moh.) i Profil 4 stoppet å virke 30. januar 2017. Skade på fuktighetssensorene har skjedd som følge av videre utgravinger i området (personlig info fra prosjektleder Anna H. Petersén i NIKU). All overvåking i hele området ble stoppet 2. oktober 2017. Overvåkingen har startet opp igjen i mars 2018. Etter den tid mangler vi data på jordfuktighet i Profil 3 og 4 siden alle tre sensorer er skadet og gir feil signaler. Jordtemperaturen måles fortsatt i sensor 4 og 5 fra Profil 4 og sensor 1, 2 og 3 i Profil 6 til høsten 2020. Sensor 1 fukt og jordtemperatur ga feil signaler fra november 2020. De gamle redokssensorer satt in i Profil 6 ga unormale verdier i midten av overvåkingsperioden slik at kun de første og siste års data er tatt med i rapporten. I tillegg er redokspotensialet målt med nye sensorer 1, 2 og 3 Profil 6 og sensor 4 i Profil 4 og sensor 5 i Profil 3.

2.4.3.4 Resultater

Temperatur ble målt i de tre profilene fra 2015–2020. Jordtemperaturen målt i alle ulike kulturlag viste normalt forløp med synkende verdier utover høsten og vinteren, som igjen normalt steg utover vår og sommeren. Målingene viste beregnet minimum, maksimum, median og gjennomsnittsverdier fra måleperioden sept. 2015 og 2016, 2017 og 2018. Disse beregninger viste at maks temperatur i Profil 6 og 4 ble målt lavere de to siste år 2017 og 2018 til 11°C i nedre kulturlag og 13°C i øvre kulturlag. Målinger i de dypere lag omkring (7,45 moh.) fra Profil 6, viste noe høyere temperaturer sammenlignet med de øvre lag i starten av måleperioden, men har jevnet seg ut i tiden etter. Det har blitt beregnet gjennomsnittverdi på 6,6°C i hele profilet. Kun noen få sommerdager viser makstemperaturer på over 10°C. I Profil 4 sank gjennomsnittstemperaturen i 2017, men steg noe i 2018 etter at nybygg ble satt

opp. De naturlige svingningene som tidligere viste sommer og vinter er blitt betydelig mindre etter nybygg er kommet på plass.

Sistnevnte svingninger har vedvart i Profil 6. Gjennomsnittsverdien de siste årene 2019 og 2020 i Profil 4 viser en økning på 2–3 grader mellom 8 og 10°C. I profil 6 steg temperaturen fra 8 til 10°C i øvre sjikt mellom 2019 og 2020. Profil 6 lå ikke under nybygget, og det ble derfor tolket at nybygg ikke direkte skyldes høyere gjennomsnitt i jordtemperatur med mindre svingninger. Beregningene viste også liten forskjell mellom Profil 6 og 4 som ligger et stykke fra hverandre, selv med nybygg satt opp over Profil 4.

De viktigste observasjoner i startfasen av miljøovervåkingen viste at jordfuktighetens gjennomsnittsverdi i profil 3 og 4 ble målt til 20–25 % i 2015 til 2016, og fra Profil 6 ble jordfuktigheten målt til 33–42 %. Sensor 3 i kulturlaget på 7.45 moh. i bunnen av Profil 6 fluktuerte mest de dager med mye nedbør i denne måleperioden.

NIBIO mangler data på jordfuktighet i profil 3 og 4 de siste 4 år 2017 til 2020, da utstyr sluttet å virke etter skade på sensorer våren 2017. I de siste årene av overvåkingsperioden ble det derfor kun målt jordfuktighet i Profil 6.

I 2017 ble jordfuktigheten målt til 35–43 %, og gjennom 2018 lå jordfuktigheten i Profil 6 på 36 % og 42 %. Forskjellen ble beregnet i gjennomsnitt på 36 % ved 8,10 moh., 42 % i midten og 38 % i bunnen av Profil 6 ved (7,95 ned til 7,45 moh.). Mot slutten av året lå alle tre sensorer i gjennomsnitt nærmere 40 % i hele profilet i nedbørsrik periode uten fluktuering i 2018. I løpet av 2019 og 2020 ligger jordfuktigheten på 36–38% i øvre del av profilen, mens nedre del ligger på 44 % og 39 %.

I Profil 6 viste beregnet redokspotensiale positive verdier. Sensor 1 på 8,10 moh. viste omtrent samme gjennomsnittsverdi på +400 mV i alle år fra 2015 til 2020. Sensor 2 og 3 ble beregnet til å ligge omkring +250 og økte til over +300 mV, men økte til +390 mV gjennom året 2020. Dette viser en svak øking i redokspotensialet i slutten av overvåkingsperioden. Dataen viste målinger som fluktuerte observert i 2015 og 2016, men har stabilisert seg gjennom 2017 og 2018. I 2019 og 2020 hadde verdiene blitt mer like. Dette viste at Profil 6 som inneholdt kulturlag med noe mer organisk materiale, men omgitt av stein og en del grus, ikke gir like gode bevaringsforhold da det er målt delvis oksiderende forhold både oppe og nede i profilen. Denne profilen ligger utenfor nytt bygg og vil være mer påvirket av nedbør.

I profil 3 og 4, med kulturlag som var mer tørre og kompakte, viste redokssensorene gjennomsnittsverdier på +280 til +430mV, noe som tilsier svakt oksiderende forhold i 2018 til 2020, som var høyere i starten 2015–2016. Gjennomsnittet for sensor 4 på 7,75 moh. sank fra +600 mV i 2015, og videre ned til 290 mV i 2020 og ser ut til å stabilisere seg der. Gjennomsnittet for sensor 5 på 7,35 moh. svingte mellom +360 til +450mV gjennom måleperioden 2015–2020. Dette viste at det var lokale forskjeller i disse profiler, men at redoksforholdene hadde sunket noe i overvåkingsperioden. Det ble også observert fluktuasjoner i redokssensor 4 på 7,75 moh. i Profil 4 2015 og 2016, men den stabiliserte seg med lavere verdi etter ødeleggelsen av sensorene som inntraff i 2017 og gjennom 2018.

Forundersøkelse og tilstandsvurdering i 2007. Tre profiler med installert overvåkingsutstyr i 2015, overvåking til og med 2020. Noen sensorer ble gravet bort under anleggsarbeidet, og på et tidspunkt i oktober 2017 ble alle ledninger til loggerskap skadet og forbindelsen mellom sensorer og dataloggere måtte reetableres mars 2018. Det mangler derfor målinger fra nesten et halvt år.

Dette prosjektet er svært viktig, og det er derfor like uheldig at det har vært rammet av utilsiktede skader på utstyret. Det understreker behovet for tinglysning av overvåkingspunkter. Det er også et område vi ville anbefalt for fortsatt overvåking, gitt at målingene har påvist aktive pågående nedbrytningsprosesser (positive redoksverdier over +200mV). Målingene indikerer en stabilisering av jordtemperatur under ny bygning med mindre sesongsvingninger. Så lenge jordtemperaturen holder seg under 10 plusgrader vil det være positivt for fortsatt bevaring av kulturlagene. Miljøovervåkingen er opphørt kort tid etter etableringen av bygningen, og det er interessant i forhold til fremtidige

byggeprosjekter å følge med på om dette er en stabil tilstand, eller om de positive redoksverdiene og den aktive nedbrytningen vil fortsette.

Det er også verdt å merke seg at man akkurat på denne utgravning kunne observere store lokale forskjeller i bevaringstilstand, særlig for bein, der skjeletter på en side av feltet var i god tilstand for videre undersøkelse, mens skjeletter på andre siden av feltet var nesten i oppløsning og derfor utelukkende kunne dokumenteres. Dessverre ble det ikke tatt prøver for jordkjemisk og jordfysisk analyse fra de pågjeldende lagene. Det er derfor ikke mulig å få noen avklaring på årsaken eller årsakene til disse forskjellene. Her kunne man ønske seg større budsjettmessig fleksibilitet i fremtidige prosjekter, så det vil være mulig å følge opp denne typen observasjoner med prøvetaking og analyse.

2.4.4 Erling Skakkes gate 3–5

Som en del av reguleringsplan og utbygging av tomten Erling Sakkes gate 3–5 (se Figur 25), hvor det er foreslått ny bebyggelse der eldre bebyggelse har stått, ønsket Riksantikvaren større kunnskap om kulturlagenes bevaringstilstand og -forhold for å kunne vurdere om de vil tåle å bli bygget på (pelefundamentering). Riksantikvaren ønsket dermed at kulturlagenes bevaringsforhold og -tilstand skulle analyseres gjennom en avklarende arkeologisk/geokjemisk undersøkelse (NIKU prosjektnummer 1021403). I tillegg bestemte Riksantikvaren, i samråd med tiltakshaver, at et miljøovervåkingsprosjekt skulle etableres før reguleringsplanen blir vedtatt og Riksantikvaren har tatt endelig stilling til dispensasjonsspørsmålet, og at miljøovervåkingsutstyr installeres. Det ble installert to miljøprofiler på tomten, og miljøovervåkingen skal gå over en periode på 5 år, og inkludere årlige rapporter samt sluttrapportering fra NIKU og deres samarbeidspartnere med anbefaling om eventuell videre logging etter at 5 år har gått.

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
McLees, C., Petersén, A., Dinning, J. (COWI AS), Voellmecke, M. (Cautus Geo AS)	2019	NIKU Rapport 98 COWI AS / Cautus Geo	Avklarende arkeologisk undersøkelse, analyse av bevaringsforhold og -tilstand, og etablering av et 5-årig miljøovervåkingsprogram TA 2019/13 Erling Skakkes gate 3-5, Trondheim, Trøndelag.	Installasjonsrapport Arkeologisk og jordfaglig vurdering
Voellmecke, M., Engebretsen, J., (Cautus Geo AS), Henninge, L. B., Dinning, A. J. (COWI AS)	2020	NIKU Rapport 104 COWI / Cautus Geo	Bevaringsrapport: Trondheim, Erling Skakkes gate 1-3. Resultater pr 1. sept 2020, Trondheim.	Statusrapport

Tabell 83: Rapporter fra Erling Skakkes gate 3–5.

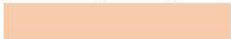




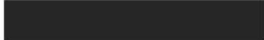





2.4.4.1 Bakgrunn

Ved miljøprofilene navngitt MP2 og MP3, ble det i 2019 gjennomført en avklarende forundersøkelse med dokumentasjon av profiler og analyser av jordkjemiprøver (McLees et al. 2019). Basert på resultater som kom frem, de geokjemiske så vel som de arkeologiske, var de intakte kulturlag fra middelalder som ble undersøkt i liten grad utsatt for nedbrytning. Den arkeologiske og geokjemiske vurderingen av forhold for tilstand og bevaring fra MP2 var omtrent samfelte i sine konklusjoner om at intakte kulturlag er godt bevarte og har i tillegg gode tåleevner. I MP3 skilte vurderingen av forhold for bevaring basert på geokjemiske analyser vesentlig fra den arkeologiske tilstandsvurdering. Bevaringsforholdene for organisk materiale i MP3 viste så gode og stabile forhold at den arkeologiske tilstandsvurderingen som ga dårlige skår i dette tilfelle bør tillegges mindre betydning. Sommeren 2019 ble det installert overvåkingsutstyr i de to profilene. Statusrapport for prosjektet fra 2020 foreligger (se Tabell 83), hvor det ble oppsummert og redegjort for resultater for måleperioden fra installasjon og frem til 1. september 2020 (Voellmecke et al. 2020).

2.4.4.2 Måledata

To miljøprofiler, MP2 og MP3, ble instrumentert med multiparametersonde for overvåking av vanninnhold, oksygen, pH og redoksforhold. Sensordata er vurdert og rapportert pr. 1. september 2020 og sammenlignet med jordprøvene og sensordata fra 2019 for å vurdere om det har skjedd noen endringer av bevaringsforholdene (se Figur 27). Det foreligger dataplott pr. september 2021 (se Figur 28 og Figur 29 for dataplott av temperatur for perioden juli–september 2021). Leverandør av MOV-tjenester var COWI AS med deres samarbeidspartner Cautus Geo AS.

Status pr 9.9.2019											Status pr 1.9.2020
Prøve- navn	Kote (moh)	Organisk- innhold (%)	Vann- innhold (%)	Sulfid ¹⁾ (mg/kg)	pH	Lednings- evne ²⁾ (µS/cm)	Bevaring				
							Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks	Arkeologisk tilstand	
2-3	9.7456	8,2	25	29	7,1	82			Delvis	A2	Uendret
2-8	9.5358	41,9	60	16	6,7	130			Delvis	A3	Uendret
2-12	9.0520	49,5	63	90	7,3	170				A3	Uendret
2-13	8.6757	73,9	74	360	7,0	220				A4	Uendret
2-14	8.5421	50,4	65	370	7,1	210				A4	-
2-18	8.2814	13,1	40	350	7,8	110				A4	Bedring
2-19	8.1365	78,7	80	130	7,3	120				A5	Uendret
3-2	9.8307	3,4	15	11	7,7	58			Devis	A2	Uendret
3-9	9.0638	5,0	27	9,9	6,8	29			Delvis	A2	Uendret
3-13	8.6755	17,0	46	46	6,6	45			Delvis	A3	Uendret
3-14	8.0814	22,5	56	48	6,8	33			Delvis	A2	Uendret

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

SOPS : NS 9451:2009

1) Sulfid er lagt til tabellen for å lettere bedømme redoks tilstand i kulturlagene
2) Verdiene er regnet om fra mS/m til µS/cm, og er derfor endret fra rapporteringen i 2019

Figur 27: Bevaringsforhold illustrert for perioden 2019 og 2020 (Voellmecke et al. 2020).

2.4.4.3 Avvik

Etter en gjennomgang av måledata i etterkant av installasjonen var det mistanke om feil i pH- og redoksmålingene ved MP2. Det var en del «støy» i pH-målingene, og de tre nederste redokssensorene målte i nærheten av null-verdier. Det var mistenkt å være dårlig kontakt mellom referanseelektroden og jorden.

En runde feilsøking ble utført den 13.8.19 for å forsøke å bekrefte problemet og utføre tiltak for å rette det. Referanseelektroden ble dratt opp og sjekket med nye pH- og redokssensorer. Alle portene på koblingsboksen ble sjekket ved å teste sensorene i ulike standarder (f.eks. 200 mV redoksstandard og 4, 7 og 10 pH buffere), og alt ble bekreftet å fungere som det skulle.

Referanselektrodens saltbro som skaper kontakt mellom elektroden og jorden ble påfylt med elektrolytt og presset ned flere ganger med referanselektroden. Til slutt ble referanselektroden montert på plass i saltbroa. Etter dette tiltaket har det vært en vesentlig stabilisering i dataene fra alle pH-sensorer, samt noe utslag i redoksdataene.

2.4.4.4 Resultater

Sensordata pr. 1 september 2020 for MP2 i ledningsevne, viste at det skjedde en reduksjon fra september 2019 og utover vinteren for tre av sensorene. Disse steg igjen utover sommeren 2020, men ikke tilbake til samme nivå som ved forrige rapportering. Sensoren i lag 13 viser tilsvarende trend, men ikke like tydelig. Ledningsevnen ligger i området 15–76 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for alle fire sensorer pr. 1. september 2020. pH sensorene viste også relativt stabile forhold siden installasjon i 2019, og alle ligger på svakt surt nivå, dvs. i området 5,7–7,0. Vanninnholdet i de ulike lagene har også holdt seg uendret (se Figur 27).

Målingene av redokspotensial viste oksiderende forhold i lagene, der tre av sensorene viste nøyaktig de samme måleresultatene som varierte mellom 0 og 100–200 mV (se kapittel 5.5.3 om avvik). Sensor "Redox sjakt 2 lag 8" lå på ca. 570 mV. Dette korresponderte med sensorene for oksygen, som begge viste tilstedeværelse av oksygen opp mot 14 % metning. Det har ikke blitt målt signifikante endringer siden 2019.

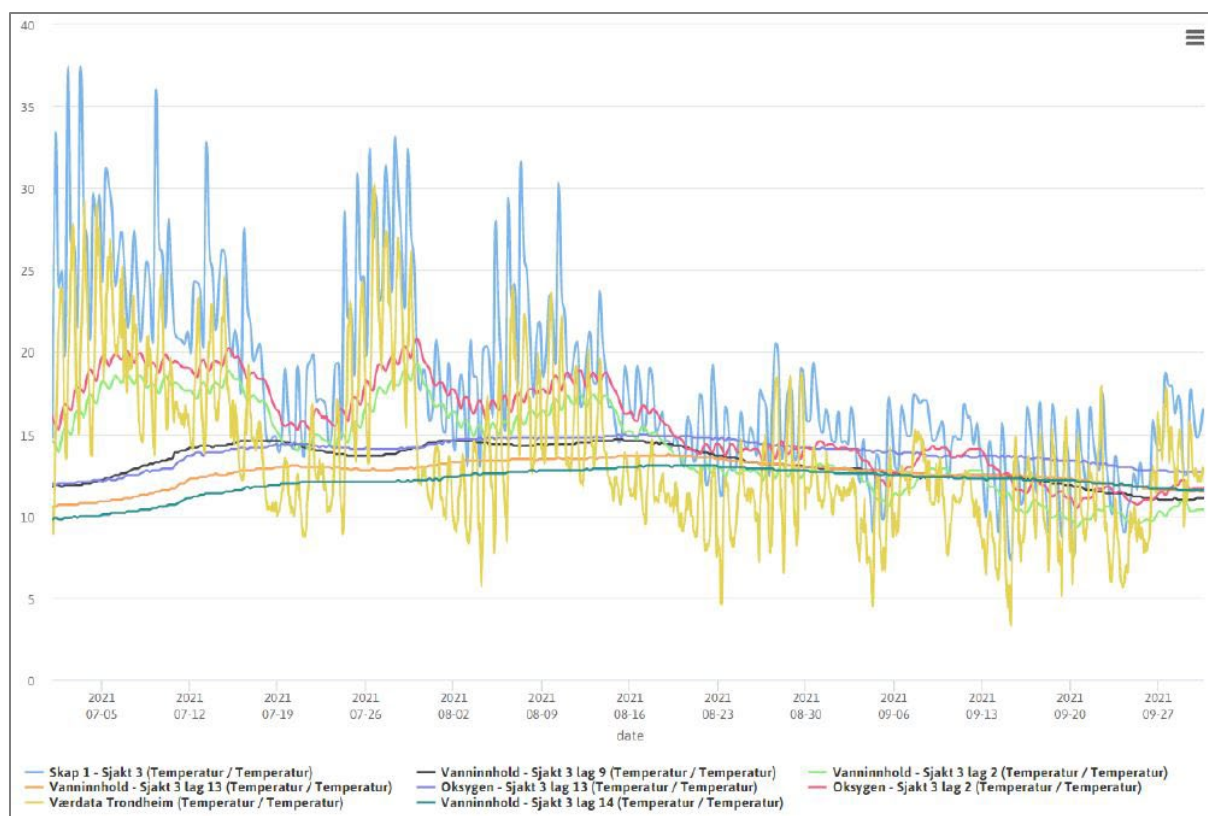
Sensordata for MP3 i ledningsevnen viste tilsvarende trend som for MP2, dvs. en synkende tendens utover vinteren og stigende igjen mot sommeren. Samtlige målinger var fremdeles lave, dvs. i området 10–30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pr. 1. september 2020. Sensorene for pH viste også stabile forhold og alle tre sensorene ligger på svakt surt nivå, dvs. 6,1–6,9. Det kan imidlertid se ut som at noe skjedde med sensorene 9. august. Da viser alle tre sensorene et hopp i pH og målingene etter denne datoen har også vært mer ustabile, dvs. hatt større utslag enn normalt (se kapittel 2.4.4.3 om avvik).

Vanninnholdet har holdt seg stabilt over hele måleperioden. Den grunneste sensoren viste lavest innhold på ca. 30 % metning, mens de tre dypere sensorene viser vanninnhold på 48–54 % metning pr. 1. september 2020 – noe som skal gi tilfredsstillende beskyttelse mot akselerert nedbrytning.

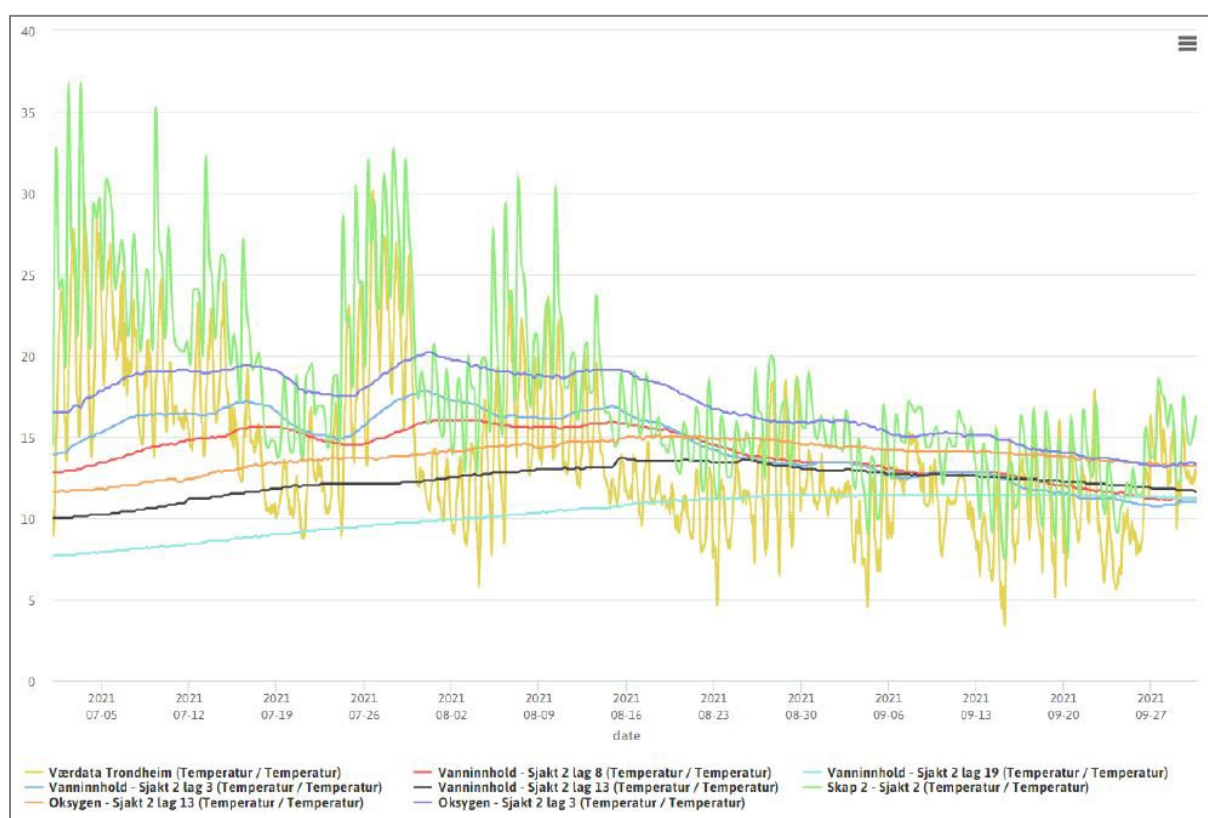
To av sensorene for redokspotensial («redox sjakt 3 lag 2» og «redox sjakt 3 lag 9») viste oksiderende forhold i lagene, dvs. ingen endring siden installasjon i 2019. Sensor «redox sjakt 3 lag 13» viste en klar nedadgående trend, noe som kan tyde på at forholdene endrer seg til mer reduktive forhold hvilket er positivt for bevaringsforhold. Sensor «redox sjakt 3 lag 14» viste klart reduktive forhold, ca. -360 mV, i området som tilsier at det bl.a. foregår reduksjon av sulfat til sulfid. Her er det dermed bra, stabile bevaringsforhold.

Oksygenmålingene viste tilsvarende trend som for redoksmålingene, dvs. sensor for sjakt 3 lag 13 (P4) viste anoksiske forhold, mens sensor for sjakt 3 lag 2 (P3) viste tilstedeværelse av oksygen tilsvarende 18–19 % metning. Målingene har vært stabile gjennom perioden.

Installering av utstyr i to profiler i 2019, pågående prosjekt som er planlagt å løpe i 5 år. Målingene viser stort sett uendrete eller forbedrede bevaringsforhold etter installeringen.



Figur 28: Måledata av temperatur fra Erling Skakkes gate MP3 for perioden juli til september 2021. Dataplott: Cautus Geo / COWI.



Figur 29: Måledata av temperatur fra Erling Skakkes gate MP2 for perioden juli til september 2021. Dataplott: Cautus Geo / COWI.

2.4.5 Munkhaugveita 5–7

I forbindelse med at det skulle etableres et nytt bygg på tomten Munkhaugveita 5–7 (se Figur 25) etter vedtatt reguleringsplan, ønsket Riksantikvaren bedre kunnskap om kulturlagenes bevaringsforhold og -tilstand i det berørte området på tomten. Det var også et ønske om å fremskaffe kunnskap om kulturlagenes tåleevne der de ble liggende intakt under dette nybygget. Bygget ble etablert uten kjeller, på pelefundamentering. Det ble dermed i 2008 gjennomført en forundersøkelse (NIKU prosjektnummer 1562776), hvor kulturlagenes bevaringsforhold og -tilstand ble analysert. I 2015 ble et miljøovervåkningsprogram for tomten utarbeidet (NIKU prosjektnummer 1020444), og to miljøprofiler ble instrumentert for overvåkning på tomten. Miljøovervåkingen skulle gå over en periode på 5 år, hvor målet med prosjektet var å overvåke kulturlag *in situ* ved å undersøke hva som skjer med bevaringen av kulturlag i umettet sone i en periode før og etter etablering av nytt bygg.

Forfatter	År	Rapport-nummer	Tittel	Rapporttype
Petersén, A., Bergersen, O.	2009	NIKU Rapport 37/2009 Bioforsk Vol. 4 Nr. 29 2009	Forundersøkelse med grunnboring for tilstandsanalyse av bevaringsforhold for kulturlag, Munkhaugsveita 3-7, Trondheim – Arkeologisk og jordfaglig analyse.	Arkeologisk og jordfaglig vurdering
Bergersen, O.	2016	NIBIO Rapport Vol. 2 Nr. 17, 2016	Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport I per september 2016.	Statusrapport
Bergersen, O.	2018	NIBIO rapport Vol. 4 (18/00079)	Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport II per oktober 2017.	Statusrapport
Bergersen, O.	2019	NIBIO rapport Vol. 5 (19/00079)	Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport III per mars 2019.	Statusrapport
Bergersen, O.	2021	NIBIO rapport Vol. 7 Nr. 20 2021.	Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen før og etter nybygg på tomt i Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Sluttrapport 2015 til og med 2020.	Sluttrapport

Tabell 84: Rapporter fra Munkhaugveita 5–7.

2.4.5.1 Bakgrunn

Ved miljøprofilene navngitt Hull 1 og Hull 4, ble det i 2015 gjennomført installering av miljøovervåkingsutstyr. Nytt bygg var ferdigstilt fra 2019, etablert over Hull 4, mens Hull 1 lå under steinheller i overgangen gårds plass og nytt bygg. Basert på resultater fra en forundersøkelse gjennomført i 2008 (Bergersen & Petersén 2009), viste de jordkjemiske analysene at tilstand og bevaringsforhold var dårlig for de øvre lag i de undersøkte boresøylene, mens tilstanden for kulturlag liggende på kote 10–9 m var utmerket bevart. Statusrapport for prosjektet fra 2016–2019 foreligger (se Tabell 84), samt en sluttrapport hvor hele måleperioden fra 2015 og ut 2020 oppsummeres (Bergersen 2021).

2.4.5.2 Måledata

To miljøprofiler, Hull 1 og Hull 4, ble instrumentert med multiparametersonde for overvåking av temperatur, jordfukt og redoksforhold (se Tabell 85, Tabell 86 og Tabell 87). Leverandør av MOV-tjenester var Bioforsk / NIBIO.

Temperatur °C 2015–2016	Hull 1 Temp 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Temp 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Temp 1.3 8.63 moh.	Hull 1 Temp 4.1 10.10 moh.	Hull 1 Temp 4.2 9.62 moh.	Hull 1 Temp 4.3 9.10 moh.	Hull 1 Temp 4.4 8.34 moh.	Hull 1 Temp 4.5 7.88 moh.
Min	2,6	3,6	3,9	1,2	1,9	3,4	4,5	5,0
Maks	14,5	13,7	12,8	14,3	12,7	12,2	11,5	11,9
Median	8,8	9,2	9,0	6,6	7,3	8,1	8,5	8,8
Gjennomsnitt	8,8	9,1	8,9	7,3	7,4	8,1	8,3	8,7
Temperatur °C 2017	Hull 1 Temp 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Temp 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Temp 1.3 8.63 moh.	Hull 1 Temp 4.1 10.10 moh.	Hull 1 Temp 4.2 9.62 moh.	Hull 1 Temp 4.3 9.10 moh.	Hull 1 Temp 4.4 8.34 moh.	Hull 1 Temp 4.5 7.88 moh.
Min	2,3	3,6	3,8	1,3	1,9	3,1	3,9	4,0
Maks	12,0	11,4	10,9	13,2	11,9	11,4	10,3	10,4
Median	6,2	6,7	6,5	4,6	4,7	5,8	6,2	6,5
Gjennomsnitt	6,7	7,2	7,2	5,8	5,8	6,5	6,7	7,0
Temperatur °C 2018	Hull 1 Temp 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Temp 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Temp 1.3 8.63 moh.	Hull 1 Temp 4.1 10.10 moh.	Hull 1 Temp 4.2 9.62 moh.	Hull 1 Temp 4.3 9.10 moh.	Hull 1 Temp 4.4 8.34 moh.	Hull 1 Temp 4.5 7.88 moh.
Min	1,4	2,1	2,2	0,0	1,1	2,3	2,9	2,8
Maks	10,3	10,0	9,8	13,2	12,0	11,6	10,6	11,8
Median	5,7	5,5	5,1	9,3	7,8	7,1	6,3	6,5
Gjennomsnitt	5,5	5,9	5,8	7,2	6,6	6,8	6,6	6,8
Temperatur °C 2019	Hull 1 Temp 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Temp 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Temp 1.3 8.63 moh.	Hull 1 Temp 4.1 10.10 moh.	Hull 1 Temp 4.2 9.62 moh.	Hull 1 Temp 4.3 9.10 moh.	Hull 1 Temp 4.4 8.34 moh.	Hull 1 Temp 4.5 7.88 moh.
Min	5,8	6,6	6,4	8,9	7,5	7,8	6,7	4,7
Maks	12,2	12,1	11,5	14,0	13,0	12,5	11,6	12,1
Median	8,3	8,7	8,4	10,8	9,8	9,5	8,7	8,8
Gjennomsnitt	8,6	8,9	8,7	11,1	10,1	10,0	9,1	8,9
Temperatur °C 2020	Hull 1 Temp 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Temp 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Temp 1.3 8.63 moh.	Hull 1 Temp 4.1 10.10 moh.	Hull 1 Temp 4.2 9.62 moh.	Hull 1 Temp 4.3 9.10 moh.	Hull 1 Temp 4.4 8.34 moh.	Hull 1 Temp 4.5 7.88 moh.
Min	6,3	7,1	6,8	9,7	8,7	8,9	8,0	6,9
Maks	12,1	12,0	11,8	14,2	13,1	12,8	12,0	12,5
Median	9,1	9,5	9,1	12,8	10,9	10,5	9,6	9,4
Gjennomsnitt	9,0	9,4	9,2	12,4	10,9	10,8	9,9	9,7

Tabell 85: Sammenstilling av måledata for temperatur fra 2015–2020 (Bergesen 2021).

Jordfukt % 2015–2016	Hull 1 Fukt 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Fukt 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Fukt 4.3 9.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Fukt 4.5 7.88 moh.
Min	46	48	62	32	37	37	39	45
Maks	98	67	73	36	75	39	42	100
Median	59	60	68	34	44	38	40	87
Gjennomsnitt	60	60	68	34	49	38	40	85
Jordfukt % 2017	Hull 1 Fukt 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Fukt 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Fukt 4.3 9.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Fukt 4.5 7.88 moh.
Min	34	54	65	33	42	38	37	56

Maks	100	65	73	71	69	69	42	100
Median	64	58	69	35	49	39	40	97
Gjennomsnitt	65	59	69	36	49	40	40	94
Jordfukt % 2018	Hull 1 Fukt 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Fukt 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Fukt 4.3 9.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Fukt 4.5 7.88 moh.
Min	34	57	66	33	44	40	36	86
Maks	98	66	75	38	52	45	38	100
Median	38	61	71	34	48	41	37	100
Gjennomsnitt	53	61	71	35	48	41	37	99
Jordfukt % 2019	Hull 1 Fukt 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Fukt 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Fukt 4.3 9.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Fukt 4.5 7.88 moh.
Min	36	59	69	31	41	39	36	75
Maks	88	66	76	33	45	41	40	100
Median	72	61	72	32	44	40	38	100
Gjennomsnitt	65	62	72	32	43	40	38	94
Jordfukt % 2020	Hull 1 Fukt 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.2 8.75 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Fukt 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Fukt 4.3 9.10 moh.	Hull 4 Fukt 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Fukt 4.5 7.88 moh.
Min	35	61	72	31	40	38	34	66
Maks	91	68	78	31	42	40	38	100
Median	75	65	75	31	41	39	36	92
Gjennomsnitt	68	65	75	31	41	39	36	91

Tabell 86: Sammenstilling av måledata for jordfukt fra 2015–2020 (Bergersen 2021).

Redoksforhold mV 2015–2016	Hull 1 Redox 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Redox 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Redox 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Redox 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Redox 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Redox 4.5 7.88 moh.
Min	339	-140	540	-46	-106	-168
Maks	639	31	732	302	-49	-118
Median	412	-99	709	259	-95	-135
Gjennomsnitt	433	-78	699	253	-93	-138
Redoksforhold mV 2017	Hull 1 Redox 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Redox 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Redox 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Redox 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Redox 4.5 7.88 moh.
Min	-257	-198	399	157	-108	-146
Maks	597	-99	729	343	-94	-120
Median	413	-120	714	244	-101	-137
Gjennomsnitt	200	-129	655	229	-102	-136
Redoksforhold mV 2018	Hull 1 Redox 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Redox 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Redox 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Redox 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Redox 4.5 7.88 moh.
Min	-256	-192	298	-13	-104	-145
Maks	56	-135	609	248	-85	-117
Median	-231	-166	397	224	-99	-132
Gjennomsnitt	-206	-165	401	208	-98	-132
Redoksforhold mV 2019	Hull 1 Redox 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Redox 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Redox 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Redox 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Redox 4.5 7.88 moh.
Min	-258	-197	282	106	-100	-147
Maks	-207	-133	323	262	-74	-100
Median	-226	-161	292	150	-95	-126
Gjennomsnitt	-226	-164	293	170	-95	-126

Redoksforshold mV 2020	Hull 1 Redox 1.1 9.10 moh.	Hull 1 Fukt 1.3 8.63 moh.	Hull 4 Redox 4.1 10.10 moh.	Hull 4 Redox 4.2 9.62 moh.	Hull 4 Redox 4.4 8.34 moh.	Hull 4 Redox 4.5 7.88 moh.
Min	-281	-227	262	-67	-134	-222
Maks	-214	-142	312	320	-93	-114
Median	-259	-191	278	289	-131	-169
Gjennomsnitt	-253	-189	282	238	-123	-165

Tabell 87: Sammenstilling av måledata for redoksforshold fra 2015–2020 (Bergersen 2021).

2.4.5.3 Avvik

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

2.4.5.4 Resultater

Det ble målt små endringer i temperatur i profil 1 Hull 1 og Hull 4. Gjennomsnittstemperaturene målt det første år var alle under 10°C og 7°C i Hull 1 og Hull 4. I løpet av 2018 har beregnet gjennomsnittstemperatur sunket 1 grad til 5-6°C i Hull 1. I Hull 4 lå fortsatt temperaturen på 6-7°C gjennom 2018. Dette viser at jordtemperaturen ikke har økt etter at nye bygg er satt opp i 2017 og 2018. Maksimumstemperaturen i kortere perioder om sommeren har ikke økt vesentlig i 2018. Den har sunket en grad i Hull 1 og er uforandret i Hull 4. Liten forskjell i temperatur mellom øvre og nedre profil i begge hull ble observert i 2018. Det var kun små svingninger observert i bunnen av Hull 4 som sannsynligvis skyldes fluktuerende tilførsel av vann.

Gjennomsnittstemperaturen målt fra gjennom 2019 og 2020 viste en gradvis økning i Hull 1 og Hull 4 på 2–4 grader. Begge profiler fra Hull 1 og Hull 4 i øvre del var blitt påvirket noe etter etablering av nybygg og at steinheller ble lagt, selv om maksimumstemperaturen disse årene ikke har økt vesentlig. Målingene viste tydelig at temperaturen ikke synker like mye og påvirkes mindre av vinterperiode som etter at nybygg er satt opp. Dette kan medføre en høyere gjennomsnittstemperatur. Medianen er derfor noe lavere i begge profiler de to siste årene.

Jordfuktigheten målt lå noe høyere i Hull 1 sammenlignet med Hull 4 første år av overvåkingen. Gjennomsnittlig jordfuktighet beregnet i Hull 1 var 60–70 %. I øvre lag ble fuktigheten målt noe lavere omkring 50 % i de første måneder, men steg og fluktuerte mye i siste del av måleperioden av 2017, med økt nedbør som tydelig påvirker de øvre kulturlagene mer enn i dypere lag. Derfor ble det også observert en økning i gjennomsnittlig jordfuktighet i øvre del av profilen på 9,10 moh. fra 2016 til 2017. Jordfuktigheten ble redusert i lag 1.1 (9,10 moh.) fra 60 til 53 % i 2018 under bygging av nytt bygg med fortsatt grad av fluktasjoner. Senere i 2019 og 2020 har sistnevnte lag en økning til gjennomsnitt 71 %. De øvrige lag i Hull 1 har også en gjennomsnittlig økning de to siste år.

I Hull 4 har fluktasjonen avtatt i bunnen av profilen og viste stabil høy jordfuktighet. Målingene viste at i overvåkingsperioden fra 2018 til 2020, var fuktigheten gjennomsnittlig lik i de ulike kulturlag fra Hull 4. En svak økning fra 84 % til 99 % ble observert i kulturlag 4,5 (7,88 moh.). De øvrige sensorer viste fortsatt mer stabil jordfuktighet omkring 40 til 50 % i toppen (10.10) og midten (9,62 ned til 8,34 moh.) av profilen i hele måleperioden fram til 2020.

Redokspotensialet i både Hull 1 og Hull 4 viste at redoksforsholdene hadde sunket i øvre lag gjennom overvåkingsperioden. Målingene viste også lavere og stabilt redokspotensialet i nedre lag i både Hull 1 og Hull 4, hvor jordfuktigheten var høyere i 2016 til 2020.

Beregninger viste at gjennomsnittsverdien målt i begge redokssensorene i Hull 1 viste nedgang fra 2015 til 2018. De to siste årene av overvåkingen fram til 2020 har begge målepunktene i Hull 1 vist negative verdier; mellom -190 og ned til -250 mV. Øvre del av profilen som hadde positive verdier de første år fram til 2017 viste nå mer reduserende forhold enn i dypere lag som kan påvirkes noe av grunnvann som siger inn. I øvre kulturlag ble det observert videre nedgang i redoksforsholdene i begge

kulturlag i løpet av 2018 fra både Hull 4, men størst reduksjon i øvre del av Hull 1. I øvre del av Hull 4 ble det påvist mer oksiderende forhold de første 3 år, men så nærmere +200 mV, noe som tilsier mindre påvirkning av oksygen.

Måledata viste at de øverste kulturlagene i Hull 4 på 10,10 moh. gir noe bedre beskyttelse i 2018 enn fra tidligere år ved at redokspotensialet nå er sunket fra +600 mV til +300 mV i overgangen 2018 til 2019. Gjennomsnittsverdier de siste to årene av måleperioden viste at redokspotensialet hadde sunket under 300 mV i øvre kulturlag, og at det var gode reduserende forhold i de dypeste lag på -121 til -164 mV. Kulturlagene i midten av profilet i Hull 4 på 9,10 moh. viser redokspotensialet i gjennomsnitt omkring +200 mV, målinger av redoksverdier som ligger i grenseland for om det kan påvises og måles nærvær av oksygen eller ikke. I nedre lag er det mer stabile beskyttende anoksiske forhold uten oksygen. Dette samsvarer med bevaringsforholdene i Hull 1 for organisk materiale, hvor redokspotensialet ved 9,10 moh. sank i 2019, og steg til samme nivå som i kulturlag på 10,10 moh. gjennom 2020.

Forundersøkelse og tilstandsvurdering i 2008. To miljøprofiler ble instrumentert i 2015 og overvåket 2015-2020. Her fungerte alle sensorer som ønsket gjennom hele overvåkingsperioden, men en temperatursensor sluttet å virke i januar 2021. Det er ingen leverandører som kan love mer enn fem års garanti på overvåkingsutstyret, så ved planlagte lenger overvåkingsprosjekter vil vi anbefale at man installerer noe flere sonder enn det i utgangspunktet vurderes å være behov for, gjerne flere i samme lag eller kontekst, for at på det viset forsøke å sikre tilgang på måledata gjennom hele den planlagte overvåkingsperioden. Så lenge alle sensorer leverer data, kan de også fungere som kontroll av riktigheten av måledata.

2.4.6 Samlet oppsummering for Trondheim

I Trondheim har det vært installert utstyr i profil på mange ulike lokaliteter. Det er viktig ettersom store deler av middelalderbyens kulturlag ligger i umettet sone, og utstyr installert i profil gir de sikreste data for disse lagene. Noen har indikert bra eller forbedrede bevaringsforhold, mens andre har kunnet påvise uendrede forhold. Samtidig har man også gjennomført prosjekter for vurdering av stabilitet i grunnvannsnivå og ikke minst i grunnvannskjemi. Disse har gitt informasjon om relativt ustabile forhold med aktiv pågående nedbrytning av kulturlag i mettet sone. Det er verdt å merke seg i fremtidig forvaltning av disse arealer.

3 Repeterende forhold i måleseriene

Det finnes mye informasjon som er viktig og relevant i forbindelse med miljøovervåking i middelalderbyene. I prosjektgjennomgangen nedenfor vil det fokuseres på hvorvidt noen særlige forhold har spesielt positive eller negative konsekvenser for in situ-bevaringen av kulturlag. Med repeterende forhold menes om det er forhold som kan observeres gjentatte ganger på samme sted / ulike steder, og som har betydning for fortsatt in situ-bevaring av kulturlag? Det vil trekkes ut og gis en kortfattet redegjørelse og analyse av slike særlige forhold. Dette har blitt gjort på bakgrunn av gjennomgangen av rapporter og måldata i tabellform i kapittel 2, samt kartfestingen som har blitt gjort. Hver middelalderby presenteres samlet, med tilhørende prosjekter.

3.1 Tønsberg

Miljøovervåkningsprosjektene i Tønsberg har i to av tilfellene vært initiert som forundersøkelse før dispensasjonsvedtak (Anders Madsens gate, Foynkvartalet), og i fire tilfeller vært gjennomført for å dokumentere hvordan inngrep som nybygg og fjernvarmerør har påvirket bevaringsforholdene i kulturlagene (Nedre Langgate 43, Storgaten fjernvarme, Nedre Langgate 19, og Storgaten 27). De to tilfellene med miljøovervåking under og inntil nybygg viser sammenfallende, bekymringsverdige resultater, med økende temperaturer og lavere fuktighet. Overvåking av bevaringsforhold under fjernvarmerør viste i det ene tilfellet økte temperaturer og lavere fuktighet, og i det andre tilfellet stabile bevaringsforhold.

3.1.1 Anders Madsens gate MOV

På tomte Anders Madsens gate 1 foreligger det en ettårig måleserie fra tre miljøbrønner (2013–2014), en arkeologisk forundersøkelse med jordkjemiprøver, og uttak av vannkjemiprøver i 2009 og 2010. Tomta ble arkeologisk utgravd i 2015. I miljøbrønnene ble det overvåket parametere i grunnvann: pH, temperatur, ledningsevne, redoksforhold og oksygen. Resultatene viste dårlig bevaring, ustabile forhold med tørre lag og fluktusjon av oksygenrikt nedbørsvann

- Kulturlagene på tomte ser ut til å ha vært påvirket av fluktuerende grunnvann gjennom mange år. Grunnvannsnivået i miljøbrønnene var påvirket av nedbørsrike perioder. Grunnvannet fluktuerte 1,4–1,8 m, og ved MB7 var det målbart grunnvann kun ved mye nedbør.
- Temperaturen i grunnvannet lå rundt 10°C i alle brønnene, og fulgte svakt sesongmessige svingninger i utetemperatur.
- pH-verdiene viste relativt store svingninger, med et gjennomsnitt rundt 5. Vannet var blitt 1–2 enheter surere i forhold til jordkjemiprøvene i 2009. Måling av ledningsevne viste ustabile forhold.
- Redokspotensialet var relativt stabilt anoksisk i SK1, og stabiliserte seg på anoksisk nivå i SK3. I SK7, hvor det var fluktuerende grunnvannsforhold, lå gjennomsnittet på + 36 mV.
- Oksygeninnholdet i grunnvannet viste lave, stabile verdier i SK1 og SK3. I SK7 økte mengden oksygen i nedbørfattige perioder.

De dårlige bevaringsforholdene på tomte skyldes trolig at nedbørsvann med oksygen har oksidert kulturlagene over lang tid. Dette var særlig tydelig i det høyereliggende, nordlige området av tomte. Kulturlagene kan ha vært utsatt for nedbrytning over lengre tid før de ble forseglet.

3.1.2 Nedre Langgate 43

Fra Nedre Langgate 43 foreligger det et femårig MOV-program omfattende tre miljøbrønner og en profil, samt jordkjemiske og vannkjemiske prøver (2008–2013). Overvåkingen i umettet sone innebar metodeutvikling og bød på flere praktiske og faglige utfordringer som kan ha påvirket resultatet. Miljøbrønnene var plassert nær pelene og under kjelleren, og målingene skulle sammenlignes med grunnvann på nordsiden av tomten, i et område som ikke var påvirket av byggearbeidene. MB1 ligger på utsiden av bygget, mens MB2 og MB3 ligger under bygget. I profil i umettet sone ble det satt inn

syv sensorer som måler fuktighet, temperatur og oksygen i ulike dybder. Resultatene viste stabile forhold i mettet sone og forverrede forhold i umettet sone, økende temperatur og lavere fuktighet.

- Fuktighetsnivået i profilen var svingende, med tørrere forhold i de øverste lagene og økende fuktighet i de nederste lagene.
- Temperaturen var jevnt stigende i alle miljøbrønner gjennom miljøovervåkingsperioden. Under nybygget svingte temperatur i grunnvannet 2–3 grader. I miljøbrønner under nybygg økte temperaturen med ca. 5°C på 5 år, mens stigningen i miljøbrønn utenfor bygg var noe lavere. Temperaturen i kulturlagene i umettet sone var 7-8 grader høyere enn i miljøbrønnene. Temperaturmålingene i profil viste store svingninger, men jevnt høye nivåer, med et gjennomsnitt på 18–19°C. Dette var betraktelig varmere enn i grunnvannet.
- pH i miljøbrønner er stabilt nøytral, men svakt økende. Ledningsevnen ligger relativt stabilt.
- Redoksforhold i miljøbrønnene er stabilt lavt.
- Oksygeninnivå i jordprofilen lå lavt (7,5 %). Grunnvannet framstod som stabilt oksygenfritt.
- Bevaringsforholdene for kulturlagene i profil ble endret etter oppføring av nybygg. Grunnvannsstand ser ut til å ha en unaturlig fluktivering. Det skyldes trolig varmetransport fra bygningen og ut til omkringliggende jordlag. Endringene vises i økt temperatur og redusert fuktighet, og trolig lavere grunnvannsstand under bygg.

Resultatene fra undersøkelsen er sprikende. Det ble konkludert med at det var stabile gode bevaringsforhold i mettet sone, og forverrede bevaringsforhold i umettet sone. Lite oksygen og stabilt lave redoksforhold, stabil ledningsevne, og nøytral pH, kan indikere gode bevaringsforhold. I undersøkelsen konkluderes det med at nybygget ikke hadde påvirket grunnvannets nivå og sammensetning, slik at det fortsatt er gode bevaringsforhold for kulturlagene i nærheten av og under bygget. Dette samtidig med at miljøovervåkingsprosjektet viste en negativ utvikling for bevaringsforholdene i kulturlagene i umettet sone. Den jevnt økende temperaturen i grunnvannet, og den sterke temperaturøkningen i kulturlagene, skyldes trolig varmetransport fra bygg. Det er også indikasjoner på redusert fuktighet og lavere grunnvannsstand under bygg.

Økt temperatur innebærer en betydelig risikofaktor for kulturlagene, selv om bevaringsforholdene ellers framstår som stabile. Forholdene i mettet og umettet sone bør sees i sammenheng. Det er grunn til å anta at bevaringsforholdene under nybygg har hatt en mer negativ utvikling enn det konkluderes med i sluttrapporten.

3.1.3 Storgaten fjernvarme MOV

Det ble etablert sonder i to grøfter i Storgata: i fjernvarmegrøft 30 og i en referansegrøft (2011–2015). Sondene målte temperatur og fuktighet i kulturlag under fjernvarmerørene i Storgata. Det var flere tekniske utfordringer underveis, blant annet var noen loggere feilkoblet, slik at det kun er Statusrapport III som har troverdige resultater. Det foreligger ikke noen arkeologisk og jordkjemisk vurdering av bevaringstilstand i forkant av miljøovervåkningen. Resultatene viste lav vannmetning og økt temperatur, som tyder på varmetransport og endrede forhold for vanninfiltrasjon og grunnvann.

- Fuktighetsforholdene: I fjernvarmegrøften var det stabil, relativt lav jordfuktighet, med lite påvirkning av nedbørnivå. I referansegrøfta 2,5 m lenger borte fluktuerer vannet mer, og lagene var 20-40 % fuktigere, noe som tyder på at vannets bevegelsesmønster under fjernvarmerørene har endret seg. Fyllmassene i referansegrøften var i tillegg mer drenerende enn i fjernvarmegrøften, og det kan ha vært noe lekkasje fra VA-nettet. Lavere fuktigheten i fjernvarmegrøften kan gjøre kulturlagene mer utsatt for oksygeninntrenging.
- Gjennomsnittlig jordtemperatur i kulturlagene under fjernvarmerørene var 3-4°C høyere enn i referansegrøften. Dette kan skyldes varmetap fra fjernvarmerørene. Ettersom temperaturforskjellene var sesonguavhengige bidrar trolig varmetap fra nærliggende bebyggelse / kjellere også til temperaturøkningen. Sesongsvingningene i temperatur i alle sensorer fra begge grøfter var 10-14 °C. Det ble konkludert med at sesongvariasjonene i

lufttemperatur er viktigere for temperaturvariasjonene i kulturlagene enn effekten av fjernvarmerørene (Bergersen 2015).

Erfaringer fra andre miljøovervåkningsprosjekter tyder på at økt temperatur og lavere vannmetning i kulturlagene er bekymringsfulle utviklingstrekk med tanke på in situ-bevaring av kulturlag.

3.1.4 Nedre Langgate 19 – Tønsberg 1

Utenfor Nedre Langgate 19, ved båten Tønsberg 1, ble det gjennomført miljøovervåking i en miljøbrønn og i en profil med sonder over, under og nær båtfunnet (2010–2012). Resultatene viste stabile forhold under fjernvarmerørene.

- Kulturlagene hadde gode til utmerkede bevaringsforhold ved arkeologisk undersøkelse i 2009.
- Profilen lå i fluktuasjonszone for grunnvann. Miljøbrønnen lå i mettet sone. Kulturlagene ble i liten grad tilført oksygenrikt regnvann eller utsatt for større fluktuasjoner i grunnvannet. Kulturlagene rundt båten fremstår som vannmettede
- Temperaturen i kulturlag og grunnvann lå rundt 13-14°C, med sesongsvingninger opp mot 19,6-21,5°C.
- Ledningsevnen var stabil i hele perioden, men høyest i de fuktigste delene av grøften.
- Redoksforholdene under og nær båten viste stabile og reduserende forhold. Redoksforholdene i midtre og nederste del av profil var stabilt gode. I fluktuasjonszonen i øvre lag er redoksforholdene mindre stabile, med gjennomsnittsverdi på +315 mV.

Gjennomsnittlig grunnvannstemperatur, salinitet, ledningsevne og løste partikler var stabilt gjennom hele måleperioden, også i nedbørsrike perioder. Temperaturene i kulturlagene og i grunnvannet ligger på samme nivå vinterstid, noe som tolkes dithen at båten ikke tilføres ekstra varme fra fjernvarmerør. Båten er heller ikke utsatt for frost. Det ble konkludert med at kulturlagene har stabile forhold så lenge grunnvannsstanden holder seg på samme nivå.

Det er vesentlig å notere seg at båten er pakket inn i bentonitt og at målingene derfor kun er aktuelle for den «boblen» som inneholder båten. Miljøovervåkingen her har ingen utsagnsverdi for de omkringliggende kulturlagene.

3.1.5 Storgaten 30-32

På tomte Storgaten 30-32 har det vært en serie MOV-prosjekter siden 2010. Det foreligger måleserier fra tre miljøbrønner (2013-2016). Miljøovervåking i perioden 2016-2021 er ikke rapportert. Kulturlagene lå over, i og under grunnvannsspeilet. Måleserien fra perioden 2013–2016 viste stabilt gode bevaringsforhold, men økte temperaturer i grunnvannet forårsaket av bygningen. Grunnvannsmålingene fra 2011 og 2014 indikerer også at grunnvannet var sunket som følge av grunnvannspumper i området. Den arkeologiske undersøkelsen viste at bevaringstilstanden var middels god eller bedre i de nedre lagene, og middels eller dårligere i de øvre lagene. Ved oppstart av måleperioden var forholdene stabilt reduserende. Resultatene viste økt grunnvannstemperatur, sunket grunnvannsstand, og relativt stabile bevaringsforhold.

- Resultatene viste fluktuerende grunnvannsnivå. Grunnvannet på tomten er blitt forstyrret, såpass at en miljøbrønn tørket ut. Grunnvannsspeilet sank i 2011, trolig på grunn av grunnvannspumper. Grunnvannsnivået har stabilisert seg etter ferdigstillelse av bygget, og fluktuerer noe med nedbørsmengden.
- Temperaturene steg 4-5 grader, noe som kan være en påvirkning fra kjøpesenteret. Det var en oppadgående kurve i siste måleperiode. MB5 påvirkes trolig av temperaturen i butikklokalet, og fluktuerer ikke med utetemperaturen. Brønnene påvirkes av varme fra kjeller og hus. Måledata fra en brønn uten påvirkning fra hus viste middeltemperatur i grunnvann opp til 4-5 grader lavere. Temperaturstigningen kan øke nedbrytningshastigheten vesentlig.
- pH er relativt lav i MB10 og MB5, og steg til nøytral.

- Ledningsevnen var svingende tidlig i overvåkingsperioden, men stabiliserte seg på omkring 2.8 mScm-1 etter at bygget var ferdig.
- Redoks-sensorene viste lave verdier, og bevaringsforholdene i grunnvannet tolkes som relativt gode.
- Anleggsperioden påvirket kulturlagene negativt, ved at det i kortere perioder ble tilført kulturlagene mer oksygenrikt regnvann.
- Bevaringsforholdene tolkes som stabile, til tross for økte temperaturer under bygget. Grunnvannet har lite oksygen, noe som begrenser nedbrytningshastigheten.

Måleserien fra perioden 2013–2016 viste stabilt gode bevaringsforhold, men at temperaturen i grunnvannet var økt på grunn av bygget. Grunnvannsmålingene fra 2011 og 2014 indikerer også at grunnvannet var sunket som følge av grunnvannspumper i området. Grunnvannsnivået later til å ha stabilisert seg etter ferdigstillelse av bygget. Temperaturøkningen skyldes trolig at nytt bygg øker temperaturen på grunnvannet under bygget. Det konkluderes med at «nytt bygg har så langt ikke virket destabiliserende for de underliggende kulturlagene».

Erfaringer fra andre miljøovervåkingsprosjekter indikerer likevel at en oppadgående kurve på temperaturstigning i grunnvann kombinert med senket grunnvannstand kan indikere en forverring av bevaringsforholdene på lang sikt.

3.1.6 Storgaten 27

Ved tomten har det i 2007 og 2014 vært foretatt arkeologisk undersøkelse og beskrivelse av bevaringstilstand, og analysert jordkjemiske prøver fra den samme profilveggen i umettet sone. I 2014 ble det i tillegg naverboret et punkt for arkeologisk vurdering av kulturlagenes bevaringstilstand. Undersøkelsene i 2013, sett i sammenheng med forundersøkelsen i 2007, viste tydelig en forringing av bevaringsforholdene i de automatisk fredede kulturlagene. Det later til at nedbrytningsprosessen har akselerert etter inngrepet i 2007, trolig på grunn av inntrenging av oksygen fra porøse fyllmasser.

- Jordkjemiprøvene fra 2013 viste gjennomgående oksiderende forhold.
- Vanninnholdet var middels til lavt både i 2007 og 2013.
- pH lå rundt nøytralt både i 2007 og 2013. Ledningsevnen var gjennomgående lav i 2007, men høy i 2013.
- Grøftene ble i 2007 gjenfylt med drenerende masser, som hadde sluppet luft inn i lagene.

Undersøkelsen viser betydningen av hvilken type fyllmasse som benyttes i grøfter. Om ikke selve profilvegg og evt. bunn i grøft er sikret med leire, er det ekstremt viktig at fyllmasser ikke er porøse.

3.1.7 Foynkvartalet

I forkant av byggeprosess på Foynkvartalet er det igangsatt et femårig miljøovervåkingsprosjekt. Måleserien startet i januar 2019, og første statusrapport foreligger. I 2018 ble det gjennomført arkeologisk undersøkelse av åtte borepunkt, med uttak og analyse av jordkjemiske prøver. Det er fire aktive miljøbrønner på tomten. Foreløpige resultater viser stabile eller forbedrede forhold etter 1 års overvåking.

- I BP2 fluktuierer grunnvannet ca. 1,5 m, mens det er målt som relativt stabilt i de andre brønnene.
- pH lå stabilt nøytralt. I BP2 og BP4 ble det registrert periodevis noe surere forhold (3–4).
- Ledningsevnen er generelt synkende, med litt sesongsvingning. Veisaltning og mindre grunnvannsfluktuasjon om vinteren kan være årsak.
- oksygeninnhold og redokspotensiale: I BP2 var det ustabile forhold for oksygen. Det tyder på at det stadig kommer inn noe oksygen som øker redokspotensialet. I BP4 og BP6 viser redoksnivåene sulfatreduserende prosesser, og oksygeninnholdet er stort sett ikke målbart. I BP8 hadde redoksforholdene stabilisert seg på ca. -450 mV og oksygenelektroden ligger på 0% O₂.

Bevaringsforholdene ser foreløpig ut til å være stabile eller forbedrede siden installasjonen av sensorer og uttaket av jordprøvene i juni 2018.

3.1.8 Oppsummering Tønsberg

Vesentligste resultater av repeterende forhold i Tønsberg er betydningen av grunnvannstand og temperaturer. Vi ser eskalert nedbrytning der grunnvannstand senkes, og temperaturer øker. Det virker særlig kritisk under nye bygninger, og tett overvåking også etter at nye bygninger står klare, er derfor noe som vi vil anbefale vurderes ved fremtidige dispensasjonssaker.

3.2 Bergen

3.2.1 Vågsbunnen

Miljøovervåkningsprosjektene i Vågsbunnen, som det foreligger resultater fra i perioden 2011–2021, er i stor grad knyttet til overvåking av bevaringsforhold i kulturlag under vei og infrastruktur.

Miljøbrønnene i Vågsbunnen ligger hovedsakelig i vei, fortau eller allmenning. Inntrenging av oksygenrikt overflatevann og veisalt, svingende vannstand og også mulig sjøvannsinntrenging (NKMB5) er utfordringer som gir ustabile bevaringsforhold for kulturlagene i dette området. Bevaringsforholdene var i utgangspunktet vurdert som hovedsakelig gode, men med svingende målinger. Svakt økende temperaturer, og varierende pH-, oksygen- og redoksverdier er indikasjoner på aktive pågående nedbrytningsprosesser i kulturlagene. Overvåking i umettet sone har foreløpig vist stabile forhold, med noe sesongmessige svingninger (B2).

3.2.2 Kong Oscars gate

I Kong Oscars gate-prosjektet er det fem miljøbrønner, med et femårig MOV-prosjekt (2012–2017). Disse brønnene viser relativt stabile bevaringsforhold, men også tydelige tegn på at nedtrenging av overflatevann øker ustabiliteten i bevaringsforholdene, med varierende pH og økt ledningsevne fra vintersalting og noe tilførsel av oksygen fra nedbør. Svakt økende temperaturer indikerer mulig økt nedbrytning i lagene. Vannprøver i 2010 og 2013 viste endring i en rekke ulike parametere, trolig på grunn av aktiviteter i området, veisalting, og nærhet til sjøen. Resultatene viste et utgangspunkt med stabilt gode bevaringsforhold, som destabiliseres av nedtrenging av overflatevann og veisalt, svingende vannstand og svakt økende temperaturer.

- Brønnene endrer også vannstand over tid. KOGTMB1 og KOGTMB2 er mer utsatt for svingninger pga. grunnvannspumper installert i nærheten til disse. I miljøbrønn KOGTMB9 var det for lite grunnvann til å få tatt prøver til analyse i 2013.
- Temperaturen i grunnvannet lå stabilt rundt 12°C, men økte 1-2 grader over de siste to årene med overvåking.
- I KOGTMB1 økte ledningsevnen/saltinnholdet, trolig som følge av veisalting. I KOGTMB2 var saltinnholdet redusert.
- I KOGTMB1, KOGTMB2 og også KOGTMB9 var det nedtrenging av overflatevann og redoksverdier opp mot 200 mV, mens KOGTMB3 og KOGTMB9 viste reduserende forhold.

I KOGTMB3 var det stabilt gode bevaringsforhold, mens KOGTMB9 er mye mer påvirket av variasjoner i nedbørsmengder og lavt grunnvannsspeil. Høyere grunnvannstemperatur i KOGTMB9 skyldes perioder med lite grunnvann. Målingene i hele måleperioden 2012 ut 2016 viser at temperaturen svinger svakt med utetemperaturen. Selv om variasjonene skjer over korte perioder, kan dette påvirke bevaringsforholdene negativt. Grunnvannets temperatur viser noe økning, noe som kan skyldes økt nedbrytning i lagene.

3.2.3 Nedre Korskirkeallmenningen

På Nedre Korskirkeallmenningen og Torvet er det en serie på åtte miljøbrønner; NKMB1-NKMB8, hvor det foreligger jordkjemiske prøver og vannkjemiprøver tatt i perioden 2011–2016. Resultatene viste stabilt gode bevaringsforhold, men antydning til sjøvannsinntrænging og sulfatnedbrytning i NKMB5.

- I jordkjemiprøvene ble det påvist gjennomgående stabile, gode bevaringsforhold, særlig i de nedre sjiktene.
- pH lå på nøytralt til basisk, noe som viser stabile forhold.
- Brønnene i Nedre Korskirkeallmenningen-området har høye tall for ledningsevne uten å ha høye salt-konsentrasjoner.
- Det er reduserende forhold i grunnvannet.
- Det var gjennomgående lite oksygen, høyt vanninnhold og organiske lag.
- I NKMB5 viste høye sulfatverdier og middels saltinnhold trolig innsig fra sjøvann, noe som kan virke negativt på kulturlagene, selv om det ellers var reduserende forhold.

3.2.4 Vågsbunnen MOV

I prosjektet Vågsbunnen MOV ble det i 2012 etablert to miljøbrønner; VMB01 og VMB02 (2012–2017). Begge brønner viste varierende bevaringsforhold. I VMB02 ble forholdene påvirket av overflatevann, salting og frost. Resultatene viste varierende bevaringsforhold, nedtrænging av overflatevann og veisalt, frostproblemer. Svingende pH, fra svært surt til nøytralt i VMB01. Fluktuasjoner i grunnvann, ledningsevne og redoksforhold i VMB02.

- Grunnvannet fluktuerte opp til 2,3 m.
- Temperaturen lå jevnt lavt, rundt 11°C. Grunnvannstemperaturen lå stabilt lav.
- pH var nøytral. Det ble påvist et spesielt surt miljø, med pH ned mot 4-5, i flere prøver fra VMB01. Dette kan være et faresignal om at organisk materiale brytes ned til syrer. I løpet av miljøovervåkingsperioden fremstod pH og ledningsevne først som synkende, men de stabiliserte seg rundt nøytral pH og lav ledningsevne. Ledningsevnen fluktuerte sesongmessig utfra salting og overflatevann.
- Redoksforholdene framstod som sterkt varierende, men sank mot slutten av perioden. Redoksforholdene viste anoksiske forhold, men sommeren 2014 var det en kort periode med oksiderende forhold på +268 mV.

I VMB02 fremstod bevaringsforholdene i jordkjemiprøvene som bra, med reduserende forhold. De fysiske forholdene ved VMB02 medførte inntrenging av overflatevann, veisalt og frost. Disse forholdene bidro til å ødelegge utstyret, så måleperioden ble kun ett år. VMB01 stabiliserte seg etter en periode med ustabile forhold.

3.2.5 MABYMOV Vågsbunnen

MABYMOV for Vågsbunnen inkluderer Profil B2 og miljøbrønnene B1 og B3 (2020-2021). B1 og B3 har litt ustabile bevaringsforhold, med inntrenging av overflatevann, mens overvåkingsprofil B2 stort sett er stabil og uendret siden utgravingstidspunktet. Resultatene viste ustabile forhold med inntrenging av overflatevann, varierende oksygen- og redoksverdier (B1, B3). Stabile forhold i profil i umettet sone, med noe sesongmessige svingninger (B2).

Måledata viser ustabile forhold i B1, med inntrenging av overflatevann i nedbørsperioder, og meget varierende oksygenkonsentrasjon og redoksverdier. Sammenlignet med resultatene fra jordprøver tatt i 2012, er bevaringsforholdene noe forverret for B1.

- Vannstanden fluktuerte rundt 1 m, og har stort sett fulgt nedbørsmønsteret. Dette tyder på mye transport av vann under nedbørsperioder selv om området er asfaltert.
- Temperaturen i brønnen svinger med årstidene, og ligger rundt 8-13°C.
- pH ligger relativt stabilt nøytralt, med små variasjoner sammenfallende med variasjoner i ledningsevne.

- Ledningsevnen lå rundt 0-1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, før det økte mot 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dette kan tyde på en økning i oppløsning av uorganisk materiale og dermed noe forverring i bevaringsforholdene for uorganisk materiale.
- Oksygenmålingene har vært meget varierende, fra ikke målbart til 11%. Ustabiliteten skyldes inntrenging av regnvann i nedbørsperioder, men det er lange perioder med reduserende forhold.

I miljøbrønn B3 var bevaring i mettet sone opprindelig vurdert som tilfredsstillende utifra jordkjemiske undersøkelser. Måledata i grunnvann viser derimot ustabile forhold med inntrenging av oksygen, og at bevaringsforholdene ikke er optimale. B3 har vist veldig varierende verdier. De varierende forholdene skyldes trolig tilsig av vann fra andre områder mot brønnen, dvs nedbør/overvann kommer direkte ned i enten brønnen eller i grunnvannet.

- Vannstanden fluktuerer ca. 2,7 m, med nedbørsmønsteret.
- Temperaturen følger sesongvariasjonene, og svinger mellom 6°C og 16°C.
- pH-målingene sank først fra 7,4 til 5,5, før de steg og stabiliserte seg rundt 6,6 i mars 2021. Dette kan tyde på surere forhold med sulfat som omdannes til sulfid under reduserende forhold, eller lokale geologiske prosesser.
- Ledningsevnen varierte sterkt, mellom 10 til 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Oksygenkonsentrasjonen var sterkt varierende, fra 0 til 100 %.
- Tilsvarende varierte redoks sterkt, med mest oksiderende forhold. Den store variasjonen i både oksygen- og redoks-målinger viser at det ikke er stabilitet i vannet. Dette bekreftes også av vannstandsendingene.

Miljøprofil B2, installert i 2018, ligger ved krysset Kong Oscars gate og Øvre Korskirkeallmenningen. I profil B2 er bevaringstilstanden svært varierende. De øvre lagene ligger i umettet sone, mens de nederste ligger i fluktusjonssonen og mettet sone. Måledata og jordkjemiprøver tyder på at B2 har stabile forhold.

- Vanninnholdet varierte fra 46-65%. De to nederste sensorene viste relativ stabilitet, mens de to øvre sensorene i større grad fluktuerte etter nedbørsmønsteret.
- Temperaturen varierer mellom ca. 5-21°C, og særlig i de øvre lagene følger temperaturen årstidsvariasjonene.
- pH var stabilt nøytral.
- Ledningsevnen har sunket og stabilisert seg rundt 25-30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, med laveste verdier i nedre lag.
- Oksygenkonsentrasjonen i profilen har vært meget varierende, fra 3 til 19 %, og svinger med sesongvariasjonene.
- De fleste redoks-målingene viser gode negative verdier.

3.2.6 Bryggen

Mye av arbeidet med Bryggen er allerede publisert (Rytter & Schonhowd 2015), og vi velger derfor ikke å gå inn i alle detaljer her. Verdenskulturarvstedet kan oppdeles i flere soner som har ulik påvirkning av eksterne faktorer – området nærmest Vågen har innsig av saltvann, særlig ved flom, mens området nærmest hotellets spuntvegg i årevis har vært preget av synkende grunnvannstand og dermed aktiv nedbrytning i øvre kulturlag. Dette problemet er dog delvis avbøtt gjennom det store Grunnvannsprosjektet, der det ble anlagt grøfter for infiltrasjon/transport av overvann, overflater ble gjort mer permeable, spuntene ble tettet og det ble etablert regnvannsbed og «swales»/infiltrasjonsbed i de høyest liggende områdene bak Bugården og Bredsgården (se Figur 30). Det pågår fortsatt miljøovervåking på Bryggen.



Figur 30. Regnbed og infiltrasjonsbed ved Bryggen. Foto: Dunlop, NIKU 2021.

3.2.7 Oppsummering Bergen

Verdensarvstedet Bryggen overvåkes fremst via miljøbrønner samt en enkelt profil med etablert måleutstyr. Det installerte utstyret i profil er dog gammelt (fra 2011) og er enten over eller nærmer seg holdbarhetsgrensen for både sensorer og dataloggere. Vi anser at det vil være en svakhet for fortsatt kontrollmulighet av bevaringsforhold for kulturlagene på Bryggen om man mister data fra profil, ettersom tolkning av grunnvannskjemi og betydning for omkringliggende kulturlag er en særdeles kompleks oppgave. Vi vil derfor anbefale at man vurderer muligheter for etablering av ny profil med miljøovervåkingsutstyr innenfor verdensarvstedet. Det er særdeles relevant å fortsatt overvåke verdensarvsstedet i forbindelse med planlagte infrastrukturprosjekter som eksempelvis Bybanen.

I Vågsbunnen får vi inn gode data fra profil ved krysset Øvre Korskirkeallmenningen/Kong Oscars gate via MABYMOV-prosjektet samt fra flere miljøbrønner. Vi vil anbefale at overvåkingen her fortsettes, ettersom det er en del av byen med høy aktivitet, særlig i forbindelse med vedlikehold av infrastruktur samt fremtidige utbyggingsprosjekter. Vågsbunnen er også et veldig sammensatt område hva gjelder faktorer som kulturlagstykkelser og hydrogeologi.

3.3 Oslo

3.3.1 Peleprosjektet Oslo gate 6

Det var to miljøbrønner tilknyttet Peleprosjektet (Sørenga og Oslo gate 6), med måleserier over to år (2010–2012), etter en arkeologisk forundersøkelse med dokumentasjon av boresøyler og uttak av jordkjemiprøver. I miljøbrønnene ble det overvåket parametere i grunnvann: grunnvannstand, temperatur, pH, ledningsevne/saltinnhold og redoksforhold. Resultatene viste gode bevaringsforhold der kulturlag er omkranset av grunnvann, dårlig over fluktuasjonssone; Sørenga; gode bevaringsforhold, stabilt foruten salt/ledningsevne.

- Grunnvannet i miljøbrønnen på Sørenga viste stabilitet gjennom måleperioden. Oslo gate 6 brønnen ble derimot påvirket av nedbørsrike perioder, samt at dette er et skrånende terreng.

Grunnvannet fluktuerte her mellom 2,2–4,7 m. Flere av kulturlagene i Oslo gate 6 ligger i både mettet og umettet sone, som fluktuerte med nedbørmengden gjennom året.

- pH og temperatur viste svingninger for Oslo gate 6, mens det ble målt stabile forhold for Sørenga.
- Måling av ledningsevne og saltinnhold viste stabile forhold for Oslo gate 6, men store svingninger for Sørenga. Svingningene skyldes trolig nærhet til og påvirkning fra sjøvann.
- Redokspotensialet viste stabile forhold for Sørenga, men svinger i Oslo gate 6. Svingningene skyldes i hovedsak store nedbørmengder.

Det konkluderes med i statusrapport til prosjektet fra Bioforsk, at det er gode bevaringsforhold for kulturlag der de ligger omkranset av grunnvann (Bergersen og Nytrø 2012).

Data fra multiparametersensorer fra et års måling mener vi er for lite data til å trekke noen klare konklusjoner. Det bemerkes dårlige bevaringsforhold over grunnvannsstand ved Sørenga, og ved Oslo gate 6 over fluktusjonssone. Det påpekes at fluktueringen skyldes store nedbørmengder i 2011. For begge lokaliteter vil vi også påpeke at overvåkingen ikke gir data fra mettet sone, der særlig hovedparten av kulturlagene ved Oslo gate 6 ligger.

3.3.2 Midgardsormen

Fra Midgardsormen-prosjektet foreligger det måleserier fra fire miljøbrønner (MB6, MB9, MB14 og S7), målt over tre år (2010–2013), samt en arkeologisk forundersøkelse med dokumentasjon av boresøylar og uttak av jordkjemiprøver. I miljøbrønnene ble det overvåket parametere i grunnvann: temperatur, pH, ledningsevne, og redoksforhold. Resultatene viste stabile forhold.

- Målinger av grunnvann viser at det er lite fluktusjon gjennom året for de fire brønnene.
- Temperatur, pH og ledningsevne har vist stabile målinger gjennom måleperioden.
- Negativt redokspotensiale ble målt i alle miljøbrønnene gjennom måleperioden, noe som vil virke beskyttende på nærliggende kulturlag.

Kulturlagene i disse brønnene som ligger over grunnvann, er mer utsatt for nedbrytning da de ligger i sandholdige elveavsetninger som jevnlig påvirkes av luft. Det er likevel positivt at forholdene synes å være stabile i alle brønner.

Målingene viser at grunnvannsnivået i området ved både Middelalderparken og S7 fluktuerte lite gjennom årene og at redoksforholdene i grunnvannet er stabilt lave. Temperatur, pH og ledningsevne har også vist stabile målinger. Dette indikerer gode bevaringsforhold for organisk materiale og middels bra for uorganisk materiale i arkeologiske kulturlag i mettet sone (Martens & Bergersen 2014).

3.3.3 DEG-prosjektet

Fra DEG-prosjektet foreligger det måleserier fra fem miljøbrønner (MB3, MB4, MB5, MB7 og MB8), målt over åtte år (2010–2018), samt en arkeologisk forundersøkelse med dokumentasjon av boresøylar og uttak av jordkjemiprøver. I miljøbrønnene ble det overvåket parametere for grunnvann: temperatur, pH, ledningsevne, redoksforhold og oksygen (MB8). Resultatene viste stigende grunnvann, og stabile forhold.

- Alle miljøbrønnene viser fluktusjon i grunnvannsnivå i nedbørsrike perioder gjennom overvåkingsperioden. Beregninger av målinger i gjennomsnitt og median viser derimot også at grunnvannsnivå i for eksempel MB4 har steget med litt over 1 meter fra 2010 til 2018. Fluktusjonene i minimum og maksimum grunnvannsnivå er observert i alle brønner i perioden 2010 til 2013, MB3 (1,10 m), MB4 (1,6 m), MB5 (0,6m) og MB7 (1,5 m). I perioden på 4 år 2014 til 2018 var fluktusjonene (0,7 m, 1,2 m 0,5 m og 1,0 m) i MB4, men mer stabil i MB8 på 0,7 til 0,5m.
- Fluktusjoner i grunnvannstand kan føre til delvis eksponering av kulturlag, så de endrer status fra å ligge i mettet sone til fluktusjonssonen. Her ser det dog ut som om det er en generell økning og dermed en stabilisering av grunnvannstand i området i etterkant av inngrepene.

- Temperatur, pH og ledningsevne og redokspotensiale, samt oksygen i MB8 har holdt seg stabilt gjennom måleperioden. Temperaturen er økt litt, eksempelvis varierer den mellom 9,2 og 11,4 grader i MB4. Det er en effekt av fluktuasjonene i vannstanden og dermed å forvente. Om temperaturen hadde økt til over 15 grader, ville det derimot vært en indikator på akselererende nedbrytning.

NIBIO konkluderer med at da forholdene i brønnene holder seg stabile over den aktuelle overvåkingsperioden, overvåkingsdata for perioden 2010–2018, viser dette at nytt høyhus vest for Nordenga bru og ferdigstilling av veiforbindelsen på østsiden av Nordenga bru ikke har forandret bevaringsegenskapene som grunnvannet har i det undersøkte området i Dronning Eufemias gate (Bergersen 2020).

Grunnvannstanden har økt i området, og det er et tegn på at det stabiliserer seg etter de store inngrepene. Dette er positivt for fortsatt in situ-bevaring i mettet sone.

3.3.4 Follobanen MOV

På Follobanen ble det installert et usedvanlig høyt antall sensorer fra to ulike MOV leverandører. Dette var et forsøk på å sikre pålitelige måledata gjennom hele overvåkingsperioden, ettersom den var lengere enn de fem årene som er maksimal garanti fra utstyrsleverandører. Miljøovervåking ved kirkegården i Saxegaardsgata 15 viser oksiderende forhold i hele profilen.

- Jordfuktigheten i øvre og nedre del av profilen har sunket ned til omkring 10 % etter en nedbørfattig og varm vår og sommer 2018.
- Middeltemperatur i profiler er under 10°C, noe som er gunstig for bevaring av organisk materiale. Den lave andel organisk materiale i profilen ved Saxegaardsgata vil også ha lav nedbrytingsrate på kortere sikt når middeltemperaturen ligger lavt med unntak av enkelte sommermånedene.
- Alle gjennomsnittlige redoksverdier går fra +650 til +750mV både i øvre og nedre del av profilen. Dette er oksiderende forhold som tyder på at aktive nedbrytningsprosesser pågår. Det er i og for seg ikke overraskende, da kulturlagene her er tørre og porøse, men fortsatt verdt å notere seg, ettersom vi vet at kirkegården fortsetter videre østover.
- Måling av Vol % oksygen har gitt upålitelige målinger siden starten av 2018. Dette viser at det kan være tryggere å måle med gode redokssensorer enn i alle fall noen typer oksygensensorer også i umettede kulturlag. I det minste har det vist seg gunstig å benytte begge typer sonder i overvåkingen.

Ny profil ble etablert og nytt utstyr er blitt installert ved punkt 1, Arkeologigropa 2019. Jordtemperatur, jordfuktighet og oksygen sensorer viser så langt pålitelige verdier. Det var noe usikre målinger på redokspotensialet og pH i perioden 2019 til mai 2020, men de viser nå etter kontroll pålitelige verdier som er gunstige for bevaring av organisk materiale i profilen.

- Ny profil viser høy jordfuktighet fra 40-70%, noe som er positivt for bevaringsforholdene.
- Derimot er det bekymrende at jordtemperaturene følger lufttemperaturene og dermed årstidene tett. Det er et tegn på porøse og sårbare kulturlag. Særlig på grunn av temperatursvingningene og mye høyere redoksverdier enn i opprinnelig profil konkluderes det ut ifra jordkjemiske analyser at bevaringsforholdene i kulturlagene i ny profil ved Arkeologigropa kun har dårlige og middels bevaringsforhold for både uorganisk og organisk materiale.

Et av de vesentligste resultatene vi så i målingene her var effekten av at profilene ble skjermet ved å pakke dem med et tjukt lag (30-90cm nedover i profil) ikke-marin blåleire (Martens 2017:133). Dette stabiliserte både temperatur og fuktinnhold i lagene veldig raskt etter tildekkingen. Dessverre ser vi også at inngrepet i 2017 kostet både tap av måleserier og forringede bevaringsforhold for de gjenværende kulturlagene.

Resultatene viste aktiv pågående nedbrytning i Saxegaardsgata; Bra bevaringsforhold i opprinnelig profil i Arkeologigropa 2016-17; forringede bevaringsforhold i ny profil ved Arkeologigropa (2019-).

3.3.5 Oppsummering Oslo

I Oslo har vi veldig få aktive overvåkingpunkter sett i betraktning av den store utbygningsaktiviteten i Gamlebyen. Det er bekymrende for utsagnsverdien av overvåkingen. Alle gjennomførte MOV prosjekter for mettet sone har vist stabile bevaringsforhold, men for umettet sone har vi dessverre kun målinger som viser forringede forhold og aktiv nedbrytning. Vi vil derfor anbefale at man ved fremtidige dispensasjonssaker ser på muligheter for å utvide overvåking, gjerne i profiler som spenner fra umettet til mettet sone, samt ser på muligheter for utvikling og implementering av avbøtende tiltak.

3.4 Trondheim

3.4.1 Schultz gate – Presidentveita

Det var to miljøprofiler tilknyttet prosjektet (Profil Nord og Profil Sør), med måleserier over fem år (2013–2017), etablert etter en forundersøkelse med dokumentasjon av profiler og analyser av jordkjemiprøver. I miljøprofilene ble det overvåket parameterne temperatur, jordfuktighet, og redoksforhold (Bergersen 2020).

- Miljøovervåkingen fra jan. 2013 og ut april 2015 viser høyere jordfuktighet i Profil Nord, på utsiden av nybygg. Det måles der, ved avslutningen av prosjektet, fortsatt reduserende forhold omkring -280 mV, noe som viser at oksygen ikke er til stede og at organiske materiale i kulturlagene er mer beskyttet mot å bli nedbrutt.
- Temperaturen er forholdsvis lik i begge jordprofiler, men temperaturen i kulturlagene i Profil Nord påvirkes litt mer av middel utetemperatur enn jordtemperaturen i kulturlagene under nytt bygg.
- Ute har gjennomsnittstemperaturen steget over tid, mens den er mer stabil litt under 10°C under nybygg (Profil Sør). Profil Sør viser gjennomsnitt temperaturen 2-3°C stigende verdi etter oppstart og er mindre påvirkning av utetemperatur. Ute har gjennomsnittstemperaturen steget 4-5°C. Maksimum temperatur i perioder ute (Profil Nord) er målt til 16°C sammenlignet med kun 11°C under nytt hus (Profil Sør). NIBIO konkluderte med at dette viste at nybygg på tomten ikke har gitt en dramatisk økning i jordtemperaturen. Temperaturer lavere en 10°C gir lav nedbrytingsrate av organisk materiale, og så lenge temperaturen ikke ligger noe særlig høyere enn 10°C blir det kun spekulasjoner å si at kulturlagene har fått dårligere bevaringsforhold. NIBIO er mer usikre på hva som skjer på utsiden over tid med evt. økt jordtemperatur.
- I Profil Sør under etablert nybygg er jordfuktigheten noe lavere, sammenlignet med Profil Nord utenfor. Redoksforholdene som er målt tilsier at det heller ikke er mye oksygen i kulturlagene under nytt bygg selv om verdiene ligger mellom +150 til +180 mV. Alle redoksverdier under +200mV er indikatorer på stabile forhold.

NIBIO kobler målingene av økt jordfuktighet til høyere nedbørsmengder i 2017, og at infiltrasjon av takvann har virket positivt på bevaringsforholdene til kulturlagene. Det påpekes av NIBIO at begge profilene har hatt små svingninger i jordfuktighet i perioder med mer nedbør. Stabilitet er gunstig for god bevaring av kulturlag in situ.

Med høyere jordfuktighet i umetta jordprofil synker redokspotensialet, og det viste at det er lite plass i jordas porevolum til oksygen. Dette gir bedre bevaringsforhold. Redokspotensialet steg noe under nedbørsfattige perioder, men ikke mer enn at NIBIO mener det fortsatt var anoksiske forhold vist ved negative redoksverdier. All økningen av jordfuktigheten vil virke mer beskyttende for kulturlagene. NIBIO konkluderer med at stabilitet og bevaringsforholdene under nybygget ikke ble forverret etter 2015.

Gradvis økning i temperatur er ikke bra for kulturlagenes bevaringsforhold på lang sikt, selv om svingningene i løpet av året blir mindre. Her steg de til rundt 10°C i 2017, men nedbrytningsstudier har vist at det er svært lite mikrobiell aktivitet i kulturlag ved temperaturer lavere enn 10°C. Det bekreftes av redoksverdiene, som alle er lavere enn +200mV. Det er derfor tross alt mulig å si at det er stabile og bra bevaringsforhold ved avsluttet miljøovervåking.

3.4.2 Peter Egges plass (Søndre gate 7–11) / Rådhusallmenningen

Det var fire miljøbrønner tilknyttet Peter Egges plass/ Rådhusallmenningen (OB1, OB2, OB3 og OB4), med grunnvannstandsmåling og uttak av vannprøver i 2015, 2017 og 2018. Det finnes også resultater fra en arkeologisk forundersøkelse med dokumentasjon av boresøyler og uttak av jordkjemiprøver. I miljøbrønnene ble det målt / analysert ulike parametere, som blant annet grunnvannsstand, temperatur, oksygen, ledningsevne og pH (Gaut 2017, 2019).

- Grunnvannet i miljøbrønnene viste stabilitet gjennom måleperioden, men på grunn av den anvendte metoden var det ikke mulig å måle årstidsvariasjoner. At grunnvannet i OB4, og kulturlagene der, påvirkes av tidevann fra Nidelva regnes av Sweco som høyst sannsynlig.
- Den høye temperaturen som ble målt skyldes trolig metoden, samt tiden på året målingene ble gjort.

Det foreligger data fra vannprøver over flere år. Likevel er det for lite data til å trekke noen klare konklusjoner, men de gjentatte prøveserier illustrerer kompleksiteten i grunnvannskjemi.

3.4.3 Søndre gate 7–11

Det var tre miljøprofiler tilknyttet prosjektet ved Søndre gate 7–11 (Profil 3, Profil 4 og Profil 6), med måleserier over fem år (2015–2020), etablert etter en forundersøkelse med dokumentasjon av profiler og analyser av jordkjemiprøver. I miljøprofilene ble det overvåket parameterne temperatur, jordfuktighet og redoksforhold (Bergersen 2021).

Før overvåking ble startet, viste Profil 6 å ha flere kulturlag med god bevaring, mens Profil 3 og 4 hadde dårlig bevarte kulturlag.

- Data på jordfuktigheten i Profil 3 og 4 mangler etter 2016 pga. graveuhellet i 2017. De to første år viste tørrere kulturlag på 20–25 %.
- Jordtemperaturen i Profil 6 var 5–7°C i gjennomsnitt gjennom året i bunn, 7–10°C i øvre del. Jordfuktigheten ble beregnet til 35 % i øvre del og omkring 42 % i dypere kulturlag i hele perioden 2015–2020. Jordtemperaturen i Profilene 3 og 4 var relativt lav i overvåkingsperioden 2015–2018 på 4–7°C, men steg fra 8–10°C i 2019 og 2020 når nytt bygg var ferdigstilt. Jordtemperaturen steg også i øvre del av Profil 6 omkring 8 moh. Fra 2019–2020. Maksimal temperatur ble målt 13–18°C i øvre del av Profil 6 over korte perioder om sommeren. I Profil 3 og 4 ble maksimal temperatur målt til 14–15°C.
- Etter at nybygget på tomten var ferdigstilt, ble det altså observert en gjennomsnittlig økning i temperatur de to siste årene av overvåkingsperioden i Profil 3 og 4 – som nå ligger under nytt bygg – fra 8°C til 10°C.
- Overvåking i Profil 6 viste svakt oksiderende forhold, fra 8.10 moh., i øvre og midtre del av profilen, ned til 7.35 moh. I den høyre siden av profilen. En årsak er at organiske kulturlag var omgitt av sandrike masser og påvirkes av nedbør. I snittverdier etter 5 år ligger redokspotensialet fra +280 og +440 mV, noe som tilsier at oksygen er til stede i profilene selv om noen av de gamle redokssensorer i Profil 6 viste noe lavere verdier. Svakt oksiderende forhold ble også målt i Profil 3 og 4, men her har redokspotensialet sunket fra +600 til omkring +300mV over tid etter at nybygget ble satt opp. Her var kulturlagene harde og tettpakket.

NIBIO mener det er grunnlag nok, på tross av delvis ødelagte sensorer, til å trekke konklusjoner basert på undersøkelsen i perioden 2015–2020: Bevaringsforholdene for arkeologiske kulturminner på undersøkte lokaliteter fra eiendommen Søndre gate 7–11 har ikke forverret seg etter at et nybygg ble reist på tomten.

Gradvis økning i temperatur er ikke bra for kulturlagenes bevaringsforhold på lang sikt, selv om svingningene i løpet av året blir mindre. Her steg de til rundt 10°C i 2017, men nedbrytningsstudier har

vist at det er svært lite mikrobiell aktivitet i kulturlag ved temperaturer lavere enn 10°C. Redokspotensialet er dog fortsatt positivt med verdier konsistent over +200 mV og tyder dermed på at aktive nedbrytningsprosesser pågår.

3.4.4 Erling Skakkes gate 3–5

Det var to miljøprofiler tilknyttet prosjektet (MP2 og MP3), med måleserier over fem år (2019–), etablert etter en forundersøkelse med dokumentasjon av profiler og analyser av jordkjemiprøver. I miljøprofilene ble det overvåket parametere i vanninnhold, oksygen, pH og redoksforhold (Voellmecke et al. 2020).

Miljøovervåkingen ble påstartet først i 2019, og det foreligger data kun fra den første statusrapporten for 2019–2020.

Sensordata ble vurdert pr. 1. september 2020 og sammenlignet med jordprøvene og sensordata fra 2019. Dette ble gjort for å vurdere om det har skjedd noen endringer av bevaringsforholdene i kulturlagene. Resultatene viser stort sett uendrede forhold, men unntak av MP2, lag 18. Redoksmålingene tyder på en bedring av bevaringsforholdene i dette laget.

Det er for lite data, dvs for kort måleperiode, til å kunne trekke noen konklusjoner pr. 2021.

3.4.5 Munkhaugveita 5–7

Det var to miljøprofiler tilknyttet prosjektet (Profil Nord og Profil Sør), med måleserier over fem år (2015–2020), etablert etter en forundersøkelse med dokumentasjon av profiler og analyser av jordkjemiprøver. I miljøprofilene ble det overvåket parameterne temperatur, jordfuktighet og redoksforhold (Bergersen 2021).

- Profilen i Hull 1 viste høyere jordfuktighet sammenstilt med Hull 4 og redoksforholdene i øvre del av profilen var i ferd med å bli anoksiske og reduserende i 2017. Fra 2018 og ut måleperioden til 2020 sank redoksforholdene ytterligere, og viste negativt redokspotensiale i hele profilen fra 9.10 til 8.63 moh. Dette gir gode bevaringsforhold for organisk materiale.
- Beregnet gjennomsnittstemperatur i begge profiler var omkring 5-7°C før nytt bygg var ferdigstilt, noe som er gunstig for bevaring av organisk materiale. Når det i tillegg ble målt anoksiske og reduserende forhold i kulturlagene, vil muligheten for bevaringen øke ytterligere.
- Miljøovervåking av kulturlag i Hull 4 i perioden september 2015 til desember 2020 viste reduserende og gode bevaringsforhold fra under 9.10 moh. Oksiderende forhold som ble påvist i øvre kulturlag på 10.1 moh. I perioden 2015 og 2017 er halvert fra +600 mV til +280 mV i slutten av 2020 som gir lavt innhold av oksygen i porene i kulturlaget.

Gjennomsnittstemperaturen økte dog de to siste årene av overvåkingsperioden etter at nybygget ble ferdigstilt på tomten. Mest utsatt er kulturlag i øvre del av Hull 4 på 10.10 moh., hvor gjennomsnittstemperaturen sist er målt til 11-12°C.

Alle temperaturer over 10°C øker risikoen for mikrobiell aktivitet og dermed at aktiv nedbrytning øker.

3.4.6 Oppsummering Trondheim

Det har vært gjennomført en lang rekke MOV prosjekter i Trondheim i umettet sone, noe som har gitt god informasjon om bevaringsforholdene i det sårbare området. Vi ser at økte temperaturer og endringer i grunnvannstand eller fuktinnhold i jordlagene er vesentlige faktorer for muligheten for fortsatt in situ-bevaring, akkurat som i Tønsberg, Bergen og Oslo.

3.5 Vurdering

Vi ser at det er en rekke faktorer som gjentar seg på de overvåkede lokalitetene, som gjelder for de følgende overvåkede parametere:

- grunnvannstand/vanninnhold
- temperatur
- ledningsevne/saltinnhold

- pH
- redokspotensiale
- oksygeninnhold

Endringer i grunnvannstand kan enten være negative for fortsatt bevaring (senkning) eller positive (stabilisering eller økning/heving). Det samme gjelder for vanninnhold målt direkte i kulturlag, der det er en forbedring om vanninnholdet øker, mens minskende vanninnhold er et varsel om risiko for økt nedbrytning.

Økende temperaturer er en sterk trussel mot fortsatt og fremtidig in situ-bevaring. Nybygg på kulturlag øker temperaturen. Der det måles temperaturer over 10°C, vet vi at mikrobiell aktivitet og dermed aktiv nedbrytning øker (Hollesen et al. 2016). Det betyr at på noen lokaliteter, der det før utbygging var gode bevaringsforhold, kan spores en endring til dårligere forhold. Dette innebærer at det sannsynligvis foregår aktiv nedbrytning, særlig om det også måles høye temperaturer og høye redoksverdier, eller høy oksygenmetning. Dette viser at det er svært viktig å både overvåke under, og utenfor, planlagte nybygg.

Vi kan se at kulturlag i umettet sone generelt vanskeligere kan tåle inngrep og nybygg enn kulturlag i mettet sone, som er beskyttet av grunnvann og oftest har stabile bevaringsforhold. Dette er en indikasjon på at man ved fremtidige dispensasjonssaker bør vurdere om det er bedre å foreta en totalutgravning eller å nekte utbygging, eller om det er mulig å gjennomføre avbøtende tiltak for å bedre forholdene for kulturlag i umettet sone. Vi har også sett at sikring av profiler med ikke-marin leire virker umiddelbart stabiliserende på bevaringsforhold (Martens 2017; Bergersen et al. 2020). Det er også verdt å merke seg at det er viktig å bevare kulturlag fra nyere tid, der disse forefinnes som dekke og naturlig beskyttelse over middelalderlag.

Miljøovervåking i umettet sone må nødvendigvis utføres med installasjon av sonder i profil, mens mettet sone kan overvåkes med multiparametersonde i miljøbrønn. Det gir dog visse utfordringer i sammenligningen av data, og vi anser at det hadde vært optimalt med installasjon i profil som spenner over både mettet og umettet sone. Det er en anbefaling man kan ta med seg ved fremtidige dispensasjonssaker.

Det er store utfordringer ved overvåkingspunkter i veibaner, til dels også i fortau. Særlig punkt i veibaner forurenses av veisalt. Det er dels forstyrrende i vurderingen av bevaringsforholdene, i noen tilfeller en indikasjon på forringede forhold – og kan uansett ses som en generell pekepinn på et problem for kulturlagsbevaring. Vi vet at tilførsel av salt til både grunnvann og direkte i kulturlag eskalerer nedbrytning av både organisk materiale og jern. I tillegg kan det være vanskelig å føre tilsyn med overvåkingspunkter i vei.

Endringer i pH verdier kan få stor betydning for hvilke materialgrupper som kan bevares. I et surt miljø bevares de fleste organiske komponenter, mens et neutralt eller basisk miljø er å foretrekke for bevaring av bein.

Når det gjelder måling av redoksforhold og oksygenmetning, ser vi at det er en styrke at overvåke begge deler, da noen oksygensensorer har vist seg relativt sårbare, mens det i andre tilfeller har vært vurdert som vanskelig å tolke redoksmålingene alene (Bergersen et al. 2020; Matthiesen et al. 2013).

Vi har i den forgangne 10 års perioden hatt samarbeid med flere ulike aktører, med varierende kvalitet på samarbeid og overvåkingsresultater. Det har samtidig vært en rivende utvikling i kvalitet og priser på utstyret (bedre kvalitet og til dels lavere priser), som har gitt oss mulighet for å installere flere sonder i profiler og benytte multisonder i miljøbrønner. Det er en styrke i MOV-prosjektene å ha flere sonder i samme lag, da det minsker sårbarheten. Alle utstyrsleverandører har en maksimal garanti på 5 år; om man ønsker lengere måleserier kommer man derfor uansett valg av utstyr ut på usikker grunn. Det kan gå bra, men utstyret kan også gå i stykker. Ved å installere flere sonder, øker man sannsynligheten for at noen av disse vil leve lengere enn garantien tilsier. Vi har også sett at det har vært stor risiko for skader på dataloggere, der disse har måttet oppbevares i kummer under bakken, sammenlignet med der vi har kunnet etablere loggerskap på stolper eller husvegger (Martens & Bergersen 2015). Dette mener vi er viktig å ta med seg i planlegging av fremtidige overvåkingsprosjekter.

4 Lokale variasjoner i bevaringstilstanden

Vurdering av lokale variasjoner i bevaringstilstand er et særdeles komplisert felt som krever inngående kjennskap til geokjemi og bakgrunnen for ulike reaksjonsmønstre i kulturlagene.

Ved gjennomgangen av rapportmaterialet spesifikt for miljøovervåkning sammenlignet med de arkeologiske rapportene, ser vi at det i mange tilfeller er observert lokale forskjeller i plan, uten at disse er dokumentert og analysert med hjelp av jordkjemiske og jordfysiske prøver. Det gjelder eksempelvis for Søndre gate-undersøkelsen i Trondheim. Her er de profiler som overvåkes langt fra den delen av feltet og flaten, der man noterte seg svært varierende lokale bevaringsforhold – på ene siden av kirkeruinen var skjeletter godt bevart; på andre siden av bygningen var beinene av konsistens som brunost (Sæhle et al. 2021). Dette understreker behov for utstrakt fleksibilitet i prøvetakingsbudsjetter i løpet av feltarbeidet, som vil muliggjøre grundigere dokumentasjon av denne typen av lokale variasjoner.

Det er også nødvendig at man øker bevisstheten hos alt arkeologisk feltpersonale i hvor vesentlig denne typen opplysninger er, og hvor viktig det er å få tilføyet jordfysisk og jordkjemisk analyse av bevaringsforhold til den arkeologiske vurderingen av bevaringstilstand.

Særlig ved vurdering av behov for og muligheter for implementering av mulige avbøtende tiltak på en lokalitet, er man helt avhengig av mer detaljert informasjon enn den som man får ved installering av overvåkingsutstyr i profil i utkanten av det berørte området.

Her ser vi at endringer i prøvetakingsstrategi og utvidede jordkjemiske og jordfysiske analyser vil kunne bidra i besvaringen av dette spørsmålet, men vi ønsker å fordype oss mere i mulige forklaringer og løsninger samt bidra til utvikling av mulige avbøtende tiltak i disse kontekster.

5 Vurdering av bruken av avklarende undersøkelser

Målet med miljøovervåking av kulturminner er å skaffe et godt kunnskapsgrunnlag for tiltak og politiske beslutninger, og å sikre 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.

Dersom kunnskapsgrunnlaget for å vurdere hvordan et planlagt tiltak virker inn på et kulturminne er mangelfullt, kan det gjennomføres en såkalt avklarende undersøkelse. Avklarende undersøkelser utføres for at rette kulturminnemyndighet skal kunne fatte vedtak i forvaltningssaker, og drive en kunnskapsbasert forvaltning av kulturlagene i middelalderbyene. Målet med avklarende arkeologiske undersøkelser er å innhente større kunnskap om et område / kulturminne, noe som kan inkludere kulturlagenes tåleevne (bevaringstilstand og -forhold) og referansedata til et eventuelt miljøovervåkingsprogram i det berørte området. Metoden, eller undersøkelsesformen, kan variere etter tiltakets utforming og kulturminnets karakter. Boring og sjakting for en tilstandsvurdering og uttak av prøver til jordkjemisk analyse er vanlige former, men miljøovervåkingsprogram tilknyttet kulturminner med måleperioder over flere år, kan også ha som formål å være avklarende undersøkelser i seg selv. I slike undersøkelser vil målet være å påvise eventuelle endringer i bevaringstilstand og -forhold.

I perioden 2010–2021 har det vært flere tiltak hvor det gjennom et miljøovervåkingsprogram har vært et mål å framskaffe informasjon om et område / kulturminne gjennom en avklarende undersøkelse. Dette er nærmere beskrevet i oversikten over miljøovervåkingsprogrammene i kapittel 2. I det følgende trekkes to av miljøovervåkingsprosjektene, som har vært tilknyttet en avklarende undersøkelse, frem som eksempler som representerer to ulike undersøkelsesformer; tilstandsvurdering og geokjemiske analyser av kulturlag, og langtidsovervåking av kulturlag med måleserier av ulike parametere. I Trondheim gjelder dette for miljøovervåkingsprogrammet i Erling Skakkes gate, og for Tønsberg prosjektet i Anders Madsens gate. Denne sammenstillingen av ulike avklarende undersøkelsesformer, vil danne grunnlaget for en vurdering om disse gir hensiktsmessige og utfyllende opplysninger.

5.1 Miljøovervåkingsprogram ved Erling Skakkes gate

Tomten Erling Skakkes gate 3–5 i Trondheim skal reguleres for utbygging, et område der det tidligere har blitt påvist og utgravd stratifiserte vernede kulturlag fra yngre jernalder og middelalder. I reguleringsplanen har det blitt foreslått å etablere ny bebyggelse langs Erling Skakkes gate, St. Jørgensveita og ut mot Kannikestrete. Nybygg er i stor grad planlagt etablert der eldre bebyggelse har stått (McLees et al. 2019).

I forbindelse med nybygg har det blitt reist spørsmål rundt mulighetene for å bygge på pelefundamenter. Riksantikvaren manglet imidlertid kunnskap om kulturlagenes bevaringsforhold og -tilstand til å kunne vurdere om de ville tåle å bli bygget på. Riksantikvaren ønsket dermed at kulturlagenes bevaringsforhold og -tilstand skulle analyseres gjennom en avklarende arkeologisk/geokjemisk undersøkelse. I tillegg fattet Riksantikvaren beslutningen om å etablere et miljøovervåkingsprosjekt før reguleringsplanen vedtas, og før Riksantikvaren har tatt endelig stilling til dispensasjonsspørsmålet, og at miljøovervåkingsutstyr skulle installeres i forbindelse med denne avklarende undersøkelsen. Miljøovervåkingen er planlagt å gå over en periode på 5 år, og vil inkludere årlige rapporter samt sluttrapportering fra NIKU og deres samarbeidspartnere med anbefaling om eventuelt videre logging etter at 5 år har gått.

For å belyse kulturlagenes dybde, omfang og karakter inkluderte dermed den avklarende undersøkelsen en arkeologisk tilstandsvurdering på to steder på tomten, med uttak av prøver for geokjemisk analyse av bevaringsforhold, samt etablering av miljøovervåkingsutstyr i to profiler med logging før, under og etter anleggsfasen.

Den arkeologiske tilstandsvurderingen av kulturlagene i de to miljøprofilene ble gjennomført i henhold til Norsk Standard 9451:2009. Det ble foretatt en vurdering av kulturlagenes tilstand på samtlige lag i MP2 (McLees et al. 2019). Kulturlagene i dybde fra ca. 1–1,50 m/ 8,67–8,13 moh. (lag 13–19) har beste vurderte tilstand, alle fra «A4- god» til «A5- utmerket». Ingen av kulturlagene i MP3 fikk bedre vurdering på tilstand enn «A3- middels», og denne vurdering sattes kun for lag 8 og 13. Tilstanden for kulturlag fra middelalder ble vurdert som «A1- elendig» til «A2- dårlig».

En vurdering av bevaringsforhold ble gjennomført. De geokjemiske analyseresultatene for MP2 viste at forhold for bevaring av organisk materiale var dårlige for kulturlag i den øvre meteren, målt fra dagens overflate, og svært gode for kulturlag i dybde fra og med ca. 8,70 moh. og ned til naturlig grunn. pH-verdien var omtrent nøytral, og konduktiviteten er lav. I kulturlag fra ca. 8,70 moh. og dypere var sulfidkonsentrasjonene høye og nitratkonsentrasjonene lave. Denne kombinasjon av geokjemiske parameterverdier tilsier at bevaringsforholdene var meget gode. Det gjennomsnittlige vanninnholdet i MP2 ligger på 58,14 %. De geokjemiske analyseresultat for MP3 viser svært gode forhold for bevaring av organisk materiale hos kulturlagene i hele miljøprofilen fra topp til bunn. pH-verdiene er nøytrale og konduktiviteten lav. Konsentrasjonene av sulfat og sulfid er lave, men andelen organisk innhold er i tillegg også lav. Det gjennomsnittlige vanninnholdet ligger på 36 %.

I MP3 skilte altså vurderingen av forhold for bevaring basert på geokjemiske analyser seg vesentlig fra den arkeologiske tilstandsvurderingen. Dette viser viktigheten av bruken av geokjemiske analyser som et supplement til den arkeologiske dokumentasjonen.

Ved første års rapportering fra overvåkingsutstyret, ble sensordata sammenlignet med jordprøver og sensordata fra 2019 for å vurdere om det hadde skjedd noen endringer av bevaringsforholdene. Resultatene viste stort sett uendrede og stabile forhold (Voellmecke et al. 2020).

5.2 Anders Madsens gate MOV – forundersøkelse ved boring og sjaktning

I forbindelse med planer om utbygging på tomten Anders Madsens gate i Tønsberg, ble det i 2009 gjennomført en forundersøkelse / grunnboring for å avklare spørsmål rundt grunnforholdene i området (Bergersen et al. 2009). Området var på det tidspunktet lite kjent arkeologisk, og Riksantikvaren ønsket en forundersøkelse for å innhente et større kunnskapsgrunnlag for det videre arbeidet med utbyggingsplanen som senere skulle fremmes som reguleringsplan.

Det var imidlertid ikke mulig på bakgrunn av boringene alene å fastslå omfanget av og karakteren på kulturlagene, eller bevaringstilstand og -forhold. Det ble dermed igangsatt en ny forundersøkelse i 2013 med sjaktning, hvor formålet var å fremskaffe opplysninger om intakte kulturminner innenfor planområdet, slik at Riksantikvaren kunne avgjøre omfanget av en eventuell arkeologiske gransking i forbindelse med de planlagte utbyggingene (Håkonsen og Ekstrøm 2013). I 2013 ble det også instrumentert tre miljøbrønner, med det formål å skulle overvåke grunnvannstand i området, og for innhenting av referansedata for ett år før utbyggingen ble påbegynt. I 2015 ble hele byggetomten arkeologisk utgravd (Halvorsen og Haugesten 2016).

Ved boreundersøkelsen i 2009 ble det i fem av 11 borepunkter, påvist kulturlag og utført en tilstandsvurdering. Kulturlagene ble estimert fra 0,4–4,5 m tykkelse. Det tykkeste kulturlagsområdet ble dokumentert i det sørvestre hjørnet. Den arkeologiske bevaringstilstanden ble der vurdert til «A4- god» til «A2- dårlig». For de resterende borepunktene i den søndre delen av undersøkelsesområdet ble bevaringstilstanden i hovedsak vurdert som «A1- elendig» til «A2- dårlig». De geokjemiske analyseresultatene bekreftet den arkeologiske tilstandsvurderingen, og indikerte at miljøforholdene i tiltaksområdet var oksiderende til nitratreducerende. Med unntak av ett borepunkt var det organiske innholdet i kulturlagene relativt lavt. Slike forhold vurderes som ugunstige for bevaring av kulturlag, og en kunne regne med at bevarte kulturlag i den søndre delen av tiltaksområdet ville bli brutt ned på sikt.

Forundersøkelsen og sjaktingen i 2013 og den arkeologiske utgravningen i 2015 bekreftet at kulturlagene hadde gjennomgående dårlige til elendige bevaringsforhold.

Sensordata fra de tre miljøbrønnene viste at kulturlagene på tomten trolig har blitt påvirket av fluktuerende grunnvann gjennom mange år, og har blitt påvirket av nedbørsvann. De dårlige bevaringsforholdene og kulturlagenes dårlige bevaringstilstand kan i stor grad forklares ved at nedbørsvann med oksygen har oksidert kulturlagene over lang tid (Bergersen 2014).

5.3 Vurdering

Innhenting av denne typen av kunnskap er avgjørende for om det kan og bør gis dispensasjon i en utbyggingssak. Det kan gjøres som en type forundersøkelse der arkeologisk vurdering av bevaringstilstand kompletteres med prøver for jordkjemisk og jordfysisk (eller vannkjemisk) analyse. Det kan bli essensielt som grunnlag for kunnskapsbaserte vurdering i forbindelse med forvaltning av kulturlag / kulturminner, hvor spørsmålene dreier seg om in situ-bevaring og kulturlagenes tåleevne og karakter. Det kan bli bestemmende for om man vil vurdere å foreta en totalutgravning for å redde arkeologisk informasjon som ellers ville gå tapt, eller om man bør gjennomføre avbøtende tiltak. Vi mener at dette er kunnskapsinnhenting som vil bli avgjørende for fremtidige dispensasjonsspørsmål.

Miljøovervåkingsfeltet har vært i stadig utvikling i løpet av denne tiårs perioden, der NIKU dels har samarbeidet med forskjellige leverandører, dels har testet ulike former for utstyr. Dette har gitt oss et erfaringsgrunnlag for å velge et oppsett og en kombinasjon av sonder, som vi anser gir god informasjon om bevaringsforholdene. Her har særlig de mange overvåkingsprosjekter på Bryggen samt ulike forskningsprosjekter bidratt i kunnskapsoppbyggingen (Martens 2017; Hollesen et al. 2016; Martens et al. 2016; Martens & Bergersen 2015; Rytter & Schonhowd 2015). Det er testet målefrekvens – hvor ofte det er nødvendig å hente ut data for å få tilstrekkelig informasjon uten å drukne i datamengder. Her har vi kunnet konkludere at fire målinger pr døgn er tilstrekkelig til å fange opp variasjoner forårsaket av plutselige hendelser. Etersom det har vært en periode med utvikling av utstyr har vi i litt vel mange tilfeller kortere måleserier enn ønsket, serier med brudd på grunn av batterisvikt, serier med varierende datakvalitet som følge av sviktende utstyr og andre problemer. Det understreker bare at miljøovervåking av kulturlag som metode har vært og fortsatt er under utvikling, selv om vi har kommet langt og har undersøkt og overvåket mange lokaliteter.

Vi vil gjerne understreke betydningen av arkeologisk tilstandsvurdering samt jordkjemisk og vannkjemisk bevaringsforholdsvurdering i forkant av etablering av MOV-program. Dette er grunnlagsdata som gjør oss i stand til å vurdere om måleseriene viser stabile, forbedrede eller forringede bevaringsforhold.

Vi anbefaler således at det i forbindelse med vedtakssaker gjennomføres en forundersøkelse med arkeologisk vurdering av bevaringstilstand og jordfysisk og jordkjemisk eller vannkjemisk vurdering av bevaringsforhold som kan fungere som basislinjeinformasjon. Dette er nødvendig for at man til fulle kan forstå målinger som utføres i løpet av et miljøovervåkingsprosjekt. Disse data vil også kunne brukes i vurdering av behov og muligheter for implementering av avbøtende tiltak, og ikke minst hvilken type tiltak som vil være ønskelig.

6 Videre betraktninger om bygging på kulturlag og *in situ*-bevaring

Et stort antall rapporter fra arkeologiske undersøkelser og miljøovervåkingsundersøkelser i middelalderbyene Tønsberg, Bergen, Oslo og Trondheim fra 2010-2021 er kartlagt, sammenstilt og analysert. Noen av lokalitetene har vært overvåket så kort at vi ennå ikke kan konkludere noe, mens det fra andre foreligger tilstrekkelig lange måleserier til at man kan vurdere, om det er trygge og stabile bevaringsforhold, eller om måleseriene avslører ustabile eller forringede bevaringsforhold. Disse opplysninger kan brukes i overveielser om det er behov for eventuelle avbøtende tiltak, og de kan selvsagt brukes av kulturminneforvaltningen i vurdering av dispensasjon for videre inngrep på samme eller nærliggende lokaliteter.

Vi ser at det er en rekke faktorer som gjentar seg på de overvåkede lokalitetene. Økende temperaturer i grunnvann eller direkte i kulturlagene er en sterk trussel mot fortsatt og fremtidig *in situ*-bevaring. Nybygg på kulturlag øker temperaturen. Ved temperaturer over 10°C øker mikrobiell aktivitet betraktelig, og dermed også nedbrytningshastigheten. Det betyr at på noen lokaliteter hvor det før utbygging var gode bevaringsforhold, kan påvises at bevaringsforholdene forverres ved at nedbrytningstempoet øker i takt med måling av høye temperaturer, høye redoksverdier og høy oksygenmetning, særlig i kombinasjon med senket grunnvannstand eller redusert vanninnhold i jorden.

Vi kan se at kulturlag i umettet sone generelt vanskeligere kan tåle inngrep og nybygg enn kulturlag i mettet sone, som er beskyttet av grunnvann og oftere har stabile bevaringsforhold. I umettet sone ser vi veldig mange måleserier som avslører aktive nedbrytningsprosesser og dermed forringede bevaringsforhold. Dette mener vi er et element man ved fremtidige dispensasjonssaker bør inkludere, for å vurdere om det er bedre å foreta en totalutgravning eller å ikke gi dispensasjon for utbygging, eller om det eventuelt er mulig å gjennomføre avbøtende tiltak for å bedre forholdene for kulturlag i umettet sone. Vi har også sett at sikring av profiler med ikke-marin leire virker umiddelbart stabiliserende på bevaringsforhold.

Vi vurderer at avklarende undersøkelser er et svært nyttig redskap både for kulturminneforvaltningens vurdering av dispensasjon og for grundig planlegging av videre undersøkelser. Særlig er det viktig å skaffe et sett grunnlagsdata med arkeologisk tilstandsvurdering kombinert med jord-/vannkjemisk prøvetaking før MOV-program etableres. Om mulig bør totaltykkelsen til kulturlag kartlegges ved en lokalitet, da dette også er av betydning, og bør inngå i en slik totalvurdering av videre arbeid.

Det er også svært viktig å etablere en fleksibilitet i prøvetaking i løpet av en arkeologisk undersøkelse, så lokale variasjoner i bevaring dokumenteres ikke kun med arkeologisk tilstandsvurdering, men også med jordkjemiske og jordfysiske analyser. Det er et helt nødvendig grunnlag for å kunne finne årsaken til disse lokale variasjoner og til å bidra i utvikling av avbøtende tiltak. Om man ikke kjenner årsaken til variasjonen, er det vanskelig å foreta seg noe for å bedre bevaringsforholdene. Vi anser at nettopp studier av lokale variasjoner og utvikling av avbøtende tiltak vil være vesentlige oppgaver fremover.

7 Litteratur

Bergersen, O., T. E. Nytrø & Ø. Johansen 2020. Statusrapport IV overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetrase 2016-2023. *NIBIO rapport oktober 2020*.

Byggforskserien 721.305, 2010. *Bygging på kulturlag i middelalderbyene*. SINTEF Byggforsk i samarbeid med Riksantikvaren, Oslo.

Hollesen, J., M. Callanan, T. Dawson, R. Fenger-Nielsen, T. M. Friesen, A. M. Jensen, A. Markham, V. V. Martens, V. V. Pitulko & M. Rockman 2018: Climate change and the deteriorating archaeological and environmental archives of the Arctic. *Antiquity* 92(363), 573-586. doi:10.15184/aqy.2018.8.

Hollesen, J., A.B. Møller, V.V. Martens & H. Matthiesen 2016. Making better use of monitoring data. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, Vol 18:1-3, 116-125, DOI: 10.1080/13505033.2016.1182750.

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

Martens, V. V. 2017. Mitigating Climate Change Effects on Cultural Heritage Sites? *Archaeological Review from Cambridge* Volume 32.2., November 2017, 123-140.

Martens, V. V. 2016. Preserving Rural Settlement Sites in Norway? Investigations of Archaeological Deposits in a Changing Climate. *Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies* 16. VU University, Amsterdam.

Martens, V. V., O. Bergersen. M. Vorenhout, P. U. Sandvik & J. Hollesen 2016. Research and monitoring on conservation state and preservation conditions in unsaturated archaeological deposits of a medieval farm mound in Troms and a late Stone Age midden in Finnmark, Northern Norway. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, Vol 18:1-3, 8-29, DOI: 10.1080/13505033.2016.1181930.

Martens, V. V. & Bergersen, O. 2015. In situ site preservation in the unsaturated zone: Avalsnes. *Quaternary International* 2015; Vol 368, 68-79.

Matthiesen, H., Zimsen, R.V. & Mortensen, M.N. 2013. Measurement of oxygen, nitrate, sulphate and redox potential in microcosms with waterlogged organic cultural deposits *Report 11074722* Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.

Reed, I. W. & Martens, V. V. 2008. Preservation Capacity of Urban Archaeological Deposits Beneath Modern Buildings in Norway. *Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies* 10, 265-272.

Rytter, J. & Schonhowd, I. 2015 (eds.). *Monitoring, Mitigation, Management. The Groundwater Project - Safeguarding the World Heritage Site of Bryggen in Bergen*. Norwegian Directorate for Cultural Heritage, Oslo.

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

7.1 Litteratur; Tønsberg

Amundsen, C. E. 2011. Overvåking av grunnvann i kulturlag i Oslo, Tønsberg og Bergen. Resultater for 2009-2010. *Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 39 2011*.

Amundsen, C. E. & Vigdal, O. 2011. Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg Effekt av fjernvarmenett på kulturlag i Storgaten. Statusrapport *Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 52 2011*.

Amundsen, C. E. & Vigdal, O. 2012. Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg Effekt av fjernvarmenett på kulturlag i Storgaten. Statusrapport. *Bioforsk Rapport Vol. 60 Nr. 52 2012*.

Bergersen, O, Hartnik, T. & Bloem, E. 2008. Vurdering av bevaringstilstand og forhold i kulturlag i mettet/umettet sone ved Nedre Langgate 43, Tønsberg. Arkeologisk, jordfaglig og geofysisk analyse. - NIKU oppdragsrapport 67/2008. *Bioforsk Vol 3 Nr. 175 –2008*.

Bergersen, O. & Petersén, A. 2010. Storgatan 30-32, ”City Shopping”, Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke Arkeologisk forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold og bevaringstilstand fra grunnboring i forbindelse med nybygg. NIKU Nr.158 2010. *Bioforsk Vol. 5 nr. 149 2010*.

Bergersen, O. 2011a. Miljøovervåking av middelalderbåt i fjernvarmegrøft ved Nedre Langgate 19, Tønsberg *Bioforsk rapport 6 (7) 2011*.

Bergersen, O. 2011b. Miljøovervåking av kulturlag under nybygg ved Nedre Langgate 41-43, Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. Statusrapport. *Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 6 2011*.

Bergersen, O. 2012a. Miljøovervåking av middelalderbåt i fjernvarmegrøft ved Nedre Langgate 19, Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. *Bioforsk rapport 7 (65) 2012*.

Bergersen, O. 2012b. Miljøovervåking av kulturminner fra miljøbrønn på tomten Storgaten 30-32, City Shopping i Tønsberg. *Bioforsk rapport Vol 7 (9) 2012*.

Bergersen, O. 2012c. Miljøovervåking av kulturlag under og nærnybygg ved Nedre Langgate 41 -43, Tønsberg Statusrapport etter 4 år *Bioforsk Rapport Vol. 7 Nr. 10 2012*.

Bergersen, O. 2013a. Miljøovervåking av kulturlag fra Middelalderen under bygging og etter at nybygg er satt opp ved Nedre Langgate Langgate 41-43, Tønsberg *Sluttrapport Bioforsk Rapport Vol. 8 Nr. 19 2013*.

Bergersen, O. 2013b. Geokjemisk kartlegging av kulturlag fra Storgaten 27, Tønsberg, Vestfold. Forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold i kulturlag i forbindelse med utbygging av eiendom. Resultater fra jordkjemiske analyser *Bioforsk Vol 8 Nr. 141 2013*.

Bergersen, O. 2013c. Statusrapport på miljøovervåking av kulturminner i Storgata, Tønsberg, 2011 og 2012. Overvåking av kulturlag i umettet sone liggende under fjernvarmerør 25. januar 2013 Statusrapport.

Bergersen, O. 2013d. Status rapport 2010-2012 - miljøovervåking av middelalderbåt under etablerte fjernvarmerør. Nedre Langgate 19, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke Brev til Riksantikvaren, datert 1.5.2013.

Bergersen, O. 2014a. Ett års miljøovervåking av grunnvann omkring kulturminner i området Anders Madsens gate i Tønsberg. Statusrapport for perioden 2013 – 2014. *Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 104*.

Bergersen, O. 2014b. Miljøovervåking av kulturminner under fjernvarmerør i Storgata, Tønsberg kommune Statusrapport II for perioden 2011 – 2013. Statusrapport II *Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 79 2014*.

Bergersen, O. 2015a. Miljø overvåking av miljøbrønn MB5 & MB10, ”Foyneiendom”, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. Status rapport I for perioden 2013 -2014. *Bioforsk rapport Vol.10 (56) 2014*.

Bergersen, Ove. 2015b. Forundersøkelse fra pælehull ved Storgata 30-32 Foyne eiendom, Tønsberg kommune. Arkeologisk forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold fra grunnboring i forbindelse med nybygg. *Bioforsk vol 10 (45) 2015*.

- Bergersen, O. 2015c. Miljøovervåking av kulturminner under fjernvarmerør i Storgata, Tønsberg kommune Statusrapport III for perioden 2011 – 2014 Statusrapport III *Bioforsk Rapport Vol. 10 Nr. 37 2015*.
- Bergersen, O. 2016. Overvåking av bevaringsforhold for kulturlag under “Foyn kjøpesenter” i Storgata 30-32 i Tønsberg Statusrapport II for miljøbrønn MB5 & MB10 i perioden 2013-15 *NIBIO rapport vol 2 nr. 65*
- Brendalmo, J. 2007. Nedre Langgate 41-43. Arkeologisk forundersøkelse (tilstandsvurdering av kulturlag fra boreprøver og profil) i forbindelse med privat forslag til reguleringsplan med formål om tillretteleggelse for ny bebyggelse på eiendommen etter brann. Forundersøkelse, uttak av jordkjemiprøver fra profil. NIKU oppdragsrapport 10/2007. *Bioforsk Vol. 2 Nr. 63 2007*.
- Ekstrøm, H. 2008. Nedre Langgate 43, Tønsberg Arkeologisk utgravning på Branntomta. *Arkeologiske utgravninger Tønsberg nr 50/2008*.
- Ekstrøm, H. & Bergersen, O. 2009. Vurdering av bevaringstilstand og forhold i kulturlag i Anders Madsens gate, Tønsberg. Arkeologisk og jordfaglig vurdering. *NIKU oppdragsrapport 218 /2009. Bioforsk Vol. 4. Nr. 122 2009*.
- Halvorsen, S. W. 2013. Storgaten 27, Tønsberg. Arkeologisk overvåking av oppgraving og igjenfylling, dokumentasjon av profil og jordsøyle fra grunnboring. Arkeologisk undersøkelse *NIKU oppdragsrapport 119/2013*.
- Halvorsen, S. & Haugesten, L. 2016. Arkeologisk utgravning i Anders Madsens gate 1, Tønsberg. *NIKU oppdragsrapport 1/2016*.
- Halvorsen S. W. & A. J. Dinning. 2018. Foynkvartalet, arkeologisk forundersøkelse av kulturlagenes bevaringsforhold og bevaringstilstand. *NIKU oppdragsrapport 12/2018*.
- Henninge, L. B & Olsen, S. B. 2021. Bevaringsrapport: Foynkvartalet, Tønsberg resultater pr. 1. Sept. *NIKU rapport 1052020*.
- Jordahl, H. & Håkonsen, I. 2013. Anders Madsens gate, Tønsberg. Arkeologisk forundersøkelse i forbindelse med utbygging av eiendommen. *NIKU oppdragsrapport 96/2013*.
- Martens, V. V, Hovd, L., Dunlop, A. R. Olsen, S. B., Henninge, L. B. & Voellmecke, M. 2020. Statusrapport mabymov miljøprofil b2 og miljøbrønn b1, b3 og to1 pr. 31. Mars 2020 Middelalderbyene Bergen og Tønsberg. *NIKU Rapport 99*.
- Martens, V. V, Dunlop, A. R. Olsen, S. B., Henninge, L. B., Engebretsen, J., Voellmecke, M. 2021. Statusrapport MABYMOV pr. 31. mars 2021, miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1. Middelalderbyene Bergen og Tønsberg *NIKU rapport 106*.
- Molaug, P. 2010. Tønsberg 1. Arkeologisk framgraving og dokumentasjon av del av båtvrak funnet i Nedre Langgate 19 i 2009. *NIKU oppdragsrapport 64/2010*.
- Petersén, A. & Bergersen, O. 2007. Nedre Langgate 41-43. Arkeologisk forundersøkelse (tilstandsvurdering av kulturlag fra boreprøver og profil) i forbindelse med privat forslag til reguleringsplan med formål om tilretteleggelse for ny bebyggelse på eiendommen etter brann. NIKU oppdragsrapport 66/2007. *Bioforsk Vol. 3 Nr. 6 2008*.
- Petersén, A. & Martens, V. V. 2011. Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo. *NIKU oppdragsrapport 55/2011*.

Petersén, A. 2013. Nedre Langgate 43, Tønsberg. Rapportering etter avsluttet miljøovervåkingsprosjekt 2008 -2012 *NIKU oppdragsrapport 188/2013*.

7.2 Litteraturliste; Bergen

Bergersen, O. 2010. Geokjemiske analyser av prøver etter grunnboring for å vurdere bevaringsforhold i kulturlag fra Kong Oscarsgate 7, Bergen. Jordfaglig vurdering av miljøforhold på bakgrunn av laboratorieanalyser. Rapport *Bioforsk Vol 5 Nr. 77 2010*.

Bergersen, O. 2013a. Status rapport på etablerte miljøbrønner i Kong Oscar gt. og befarings av gamle brønner i Vågsbunnen, oktober Bergen. 8.okt 2013.

Bergersen, O. 2013b. Geochemical analysis of samples after drilling to explain the preservation condition in archaeological deposits at Øvregate 19, Bergen. *Bioforsk rapport vol 8 nr 53 2013*.

Bergersen, O. 2014a. Environmental monitoring of the archeological deposit at Øvregate 19, Bergen. Status report 2014. *Bioforsk vol 9 no. 42 2014*.

Bergersen, O. 2014b. Geokjemiske kartlegging av kulturlag fra nye miljøbrønner etablert i Skostredet (VMB01) og Vågsallmenningen (VMB02), Bergen Forundersøkelse av bevaringsforhold i kulturlag. Rapport *Bioforsk Vol 9 Nr. 41, 2014*.

Bergersen, O. 2015a. Environmental monitoring of the archaeological deposits at Øvregaten 19, Bergen. Status report II. *Bioforsk vol 10 no. 35 2015*.

Bergersen, O. 2015b. Overvåking av grunnvann i miljøbrønner med arkeologiske kulturlag fra Kong Oscars gate i Bergen. Statusrapport II. *Bioforsk rapport Vol 10. nr.83. 2015*.

Bergersen, O. 2015c. Miljøovervåking av miljøbrønner etablert i Skostredet (VMB01) og Vågsallmenningen (VMB02), Bergen Status rapport I. *Rapport Bioforsk Vol 10 Nr. 84, 2015*.

Bergersen, O. 2016a. Environmental monitoring of the archaeological deposits at Øvregaten 19, Bergen. Status report III *Bioforsk vol 2 no. 84 2016*.

Bergersen, O. 2016b. Miljøovervåking fra miljøbrønner etablert i Skostredet (VMB01), Bergen Status rapport II. *VOL.:2, NR. 99, 2016 NIBIO RAPPORT*.

Bergersen, O. 2017. Miljøovervåking fra miljøbrønn i Kong Oscars gate, Bergen. - Status rapport III. *NIBIO rapport vol 3 2017*.

Bergersen, O., 2018. Miljøovervåking fra miljøbrønner i Kong Oscars gate, Bergen. Sluttrapport 2013-2017. *NIBIO rapport Vol 4, 2018*.

Bergersen, O., Nytrø, T. E., og Johansen, Ø. 2017. Environmental monitoring of the archaeological deposits at Øvregaten 19, Bergen Concluding report 2013-2017. *NIBIO rapport vol. 3 nr. 101 2017*.

Bergersen, O., og Nytrø, T. E. 2014. Overvåking av miljøbrønner i arkeologiske kulturlag fra Kong Oscars gate i Bergen Statusrapport 1, 2012 til 2013. Statusrapport 1 *Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 57, 2014*.

Bergersen, O. & Dunlop, A. R. 2011. Arkeologiske og geokjemiske undersøkelser av kulturlag fra Nedre Korskirkeallmenningen, Vågsbunnen, Bergen kommune, Hordaland fylke. Forundersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold og bevaringstilstand NIKU Oppdragsrapport 74/2011. *Bioforsk Vol 6 Nr. 46 2011*.

De Beer, H. & Matthiesen, H. 2011. Overvåkingsplan for undergrunnen ved Bryggen i Bergen. *NGU. NGU report 2010.040*.

- de Beer, H., Matthiesen, H. & Christensson, A. 2012. Quantification and visualisation of in situ degradation at the world heritage site Bryggen in Bergen, Norway *Conservation and Management of Archaeological sites*, 10:204-222.
- Dunlop, A.R., 2005. Øvregaten 19, Bergen: Arkeologisk undersøkelse og registrering av grunnboringer, 2005. – *Arkivrapport*, NIKU distriktskontor Bergen.
- Dunlop, A. R., 2008a. The Bryggen Monitoring Project, Part 2: Archaeological investigations in connection with monitoring project, Bredsgården tenement, Bryggen, Bergen, 2002-3. – NIKU Arkeologi avdeling, *arkivrapport 66/2008*. Bergen.
- Dunlop, A. R. 2008b. The Bryggen Monitoring Project, Part 4: report on the archaeological investigation of five dipwell boreholes, 2005 Arkeologi avdeling Bergen *NIKU oppdragsrapport 28/2008*.
- Dunlop, R. 2008c. The Bryggen Monitoring Project, Part 5: report on the investigations at the rear of Nordre Bredsgården, 2006. NIKU Rapport Arkeologi avdeling, Bergen *NIKU oppdragsrapport 22/2008*.
- Dunlop, A. R. 2008d. The Bryggen Monitoring Project, Part 6: report on the archaeological investigation of three dipwell bore-holes, 2006. Rapport NIKU Arkeologi avdeling Bergen *NIKU oppdragsrapport 63/2008*.
- Dunlop, A. R. 2008e. The Bryggen Monitoring Project, Part 7: report on the archaeological investigation of five dipwell boreholes, 2007. Rapport NIKU Arkeologi avdeling Bergen *NIKU oppdragsrapport 64/2008*.
- Dunlop, A. R. 2009. The Bryggen Monitoring Project, Part 9: report on the archaeological investigation of two dipwell bore-holes, Schøtstuene, 2009. *NIKU Oppdragsrapport 222/2009*.
- Dunlop, A. R. 2010a. The Bryggen Monitoring Project, Part 10: report on the archaeological investigation of three dipwell boreholes, Bugården/-Bredsgården, Bryggen, 2009 *NIKU Oppdragsrapport 36/2010*.
- Dunlop, A. R. 2010b. The Bryggen Monitoring Project, Part 11: report on the archaeological investigation of two dipwell boreholes, Bryggen and Finne-gårdsgaten, 2010. *NIKU Oppdragsrapport 246/2010*.
- Dunlop, A. R. 2011a. The Bryggen Monitoring Project, Part 12: report on the archaeological Investigation of two dipwell drillings, Bryggestredet and Bellgården, Bryggen, 2011. *NIKU Oppdragsrapport 271/2011*.
- Dunlop, A. R. 2011b. The Bryggen Monitoring Project, Part 13: report on the archaeological investigations in connection with re-infiltration measures, Bryggen, 2011. *NIKU Oppdragsrapport 297/2011*.
- Dunlop, A.R. 2012a. The Bryggen Monitoring Project, Part 14 Report on the archaeological investigation of four monitoring-well drillings, Bryggen, 2011-2. *Niku Oppdragsrapport 70/2012*.
- Dunlop, A.R. 2012b. The Bryggen Monitoring Project, Part 15 Report on the archaeological investigation of two boreholes, Bredsgården, Bryggen, 2011. *Niku Oppdragsrapport 71/2012*.
- Dunlop, A.R. 2012c. The Bryggen Monitoring Project, Part 17 Report on the archaeological investigation of two test-pits, Schøtstuene, Bryggen, 2012. *Niku Oppdragsrapport 92/2012*.

- Dunlop, A.R. 2012d. The Bryggen Monitoring Project, Part 18: Report on the archaeological investigation of two monitoring-well boreholes, Rosenkrantzgate and Lodin Lepps gate, Bryggen, 2012. *Niku oppdragsrapport 122/2012*.
- Dunlop, A. R. 2013. Vågsbunnen, Bergen Rapport om arkeologisk undersøkelse av to naverboringer, 2012. *NIKU oppdragsrapport 64/2013*.
- Dunlop, A. R 2014. Finnegården 1a, Bryggen Archaeological investigation of drillings for two monitoring wells. *Niku Oppdragsrapport 91/2014*.
- Dunlop, A.R. 2015a. The Bryggen Monitoring Project, Part 16: Report on the archaeological fieldwork in connection with the Groundwater Project, Bryggen in Bergen, 2011-15. *Niku oppdragsrapport 16/2015*.
- Dunlop, A.R. 2015b. The Bryggen monitoring project, part 19: Report on shallow auger drillings in connection with the Groundwater Project, Bryggen in Bergen. *Niku oppdragsrapport 104/2015*.
- Dunlop, A. R. 2015c. Sammenstilling av arkeologiske data om bevaringstilstand m.m. i bydelen Vågsbunnen, Bergen. –*NIKU Oppdragsrapport 99/2012*.
- Dunlop, A. R. 2016a. Nedre Korskirkeallmenningen & Torget, Bergen: Arkeologisk registrering ved fem naverboringer. *NIKU oppdragsrapport 38/2016*.
- Dunlop, A. R. 2016b. Miljøovervåkningsplan Vågsbunnen, Middelalderbyen Bergen. *NIKU oppdragsrapport 170/2016*.
- Dunlop, A.R. 2017. Øvregaten 19, Bergen: report on the archaeological investigation of five auger drillings in 2012, and precis of monitoring work 2013-2017. *NIKU oppdragsrapport 198/2012*.
- Dunlop, A.R. 2018. Skostredet 7, Bergen: Arkeologisk undersøkelse av tre naverboringer. *NIKU oppdragsrapport 93/2018*.
- Dunlop, A.R. 2019. BIR nedkastpunkt Domkirkegaten, 2018 Arkeologisk utgravning. *NIKU oppdragsrapport 72/2019*.
- Dunlop, A.R. 2020. Østre Skostredet 2, Bergen, 2020: Arkeologisk undersøkelse av en naverboring. *NIKU oppdragsrapport 91/2020*.
- Dunlop, A.R., Hobæk, H. & Lorvik, K. 2016. Korskirken, Bergen; Arkeologisk registrering ved fire naverboringer og fire prøvehull *NIKU oppdragsrapport 37/2016*.
- Dunlop, A. R. & K. Lorvik. 2010. Kong Oscars gate 7, Bergen: Arkeologisk undersøkelse av grunnboringer, 2010. *NIKU oppdragsrapport 35/2010*.
- Dunlop, A. R., Henninge, L. B., Soldal, J., Hind, H. & Krangnes, L. 2021. Miljøovervåkning Bryggen i Bergen Statusrapport Bryggen MOV pr 31. mars 2021. *NIKU rapport 107*.
- Gregory, D. & Matthiesen, H. 2006. On the use of modern samples to study preservation conditions in the cultural layers below Bryggen in Bergen. *REPORT no 10832-0008* Department of Conservation, National Museum of Denmark.
- Haarstad, K. 2013. Vurdering av kjemisk kvalitet av grunnvannet i tilknytning til kulturminner i jord – Kong Oscars gate og Nedre Korskirkeallmenningen, Bergen. *Bioforsk rapport nr 8 (165) 2013*.
- Hind, H., Krangnes, L., Soldal, J. & Martens, V. V. 2020. Miljøovervåkning Bryggen i Bergen. Statusrapport Bryggen MOV pr 31. mars 2020 *NIKU rapport 100*.

- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2011. The effect of temperature on the decomposition of urban layers at Bryggen in Bergen. National Museum of Denmark, Department of Conservation, Copenhagen. *Report no 11031048*.
- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2012. Effects of infiltrating water into organic cultural layers. *Report no 11031268*. Conservation and Natural Science, National Museum of Denmark.
- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2015a. Preservation conditions at dipwells MB48 and MB49 under the Hanseatic Museum, Bryggen, Bergen. Report from Conservation and Natural Science, National Museum of Denmark 2015.
- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2015b. The influence of soil moisture, temperature, and oxygen on the decay of organic archaeological deposits. *Archaeometry*, 57, 362-377.
- Jensen, J. A. 2012. Kong Oscars gate og Vågsbunnen Opprusting av gater og byrom. Grunnundersøkelser og fundamentering Setninger, kulturlag og grunnvann. 31. oktober 2012. *Multiconsult rapport 613883*.
- Jensen, J. A. 2016. Korskirken i Bergen, Vågsbunnen, grunnundersøkelser. *Multiconsult 616196-RIG-NOT-001*.
- Lorvik, K. 2012. Domkirkegaten 6. *NIKU Oppdragsrapport 240/2012*.
- Lorvik, K. & R. Dunlop 2009. The Bryggen Monitoring Project, Part 8: report on the archaeological investigation of two dipwell boreholes, Holmedalsgården and Svensgården, 2009. *NIKU Oppdragsrapport 43/2009*.
- Martens, V. V., Dunlop, A. R., Dinning, A. J., Henninge, L. B., Voellmecke, M. 2019. Oppstartsrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B3. Kong Oscars Gate og Nedre Hamburgersmauet, Vågsbunnen, Bergen *NIKU RAPPORT 96*.
- Martens, V. V., Hovd, L., Dunlop, A. R., Olsen, S. B., Henninge, L. B., Voellmecke, M. 2020. NIKU rapport 99 statusrapport MABYMOV miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1 pr. 31. mars 2020 Middelalderbyene Bergen og Tønsberg. *NIKU RAPPORT 99*.
- Martens, V. V., Dunlop, A. R., Olsen, S. B., Henninge, L. B., Voellmecke, M., Engebretsen, J. 2021. Statusrapport MABYMOV pr. 31. mars 2021, miljøprofil B2 og miljøbrønn B1, B3 og TO1. Middelalderbyene Bergen og Tønsberg *NIKU rapport 106*.
- Matthiesen, H. 2002. Ground water composition at building Ve on Bryggen in Bergen REPORT no 12027-0001-1 Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H. 2003. Validation of oxygen measurements in dipwells using automated equipment. *Report 10832-0004-2* Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H., 2004a. Composition of soil and ground water below Svensgården building IVe, Bryggen, *Bergen12027-0001-2* Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H., 2004b. State of preservation and possible settling of cultural layers below Bredsgården and Bugården tenements, Bryggen, Bergen. – Copenhagen: National Museum of Denmark, Department of Conservation. *Report no. 10832-0004-3*.
- Matthiesen, H. 2004c. In situ preservation and monitoring of the cultural layers below Bryggen. (In Christensson, Paszkowski, Spriggs, Verhoef, red.) *Safeguarding Historic Waterfront Sites*. Bryggen in Bergen as a case-study: 69-73.

- Matthiesen, H., 2005a. Oxygen, water table, and temperature measurements in dipwells around Bryggen in Bergen. – Copenhagen: National Museum of Denmark, Department of Conservation. *Report no. 12027-0002-1*.
- Matthiesen, H. 2005b. Composition of soil and ground water below building VIIIa 'Fiskebutikken', Bryggen, Bergen *REPORT no 12027-0001-3* Department of Conservation, National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H., 2005c. Influence of piling on cultural deposits at Bryggen, Bergen. – Copenhagen: National Museum of Denmark, Department of Conservation. *Report no. 10832-0007-1*.
- Matthiesen, H. 2006a. Ground water composition at Bryggen in Bergen June 2005 - an evaluation of the use of water samples for monitoring preservation conditions. *Report 12027-0005* Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H. 2006b. Composition of soil and groundwater at dipwells MB12, 10, 14 and 13, Bryggen, Bergen *REPORT no 12027-0004* Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H. 2006c. Influence of piling on cultural deposits in Bergen, Lund and Copenhagen. *Report 10832-0007-2* Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H. 2007a. Preservation conditions above the groundwater level at the rear of Nordre Bredsgården, Bryggen in Bergen. Results from MB21 and testpit from 2006. *10832-0011-1* Department of Conservation National Museum of Denmark.
- Matthiesen, H. 2007b. Detailed chemical analysis of groundwater as a tool for monitoring urban archaeological deposits - results from Bryggen in Bergen. *Journal of Archaeological Science*.
- Matthiesen, H., 2008a. Composition of soil and groundwater in dipwells MB24, 25, 26, 27 and FB1 at the quay front of Bryggen, Bergen. – Copenhagen: National Museum of Denmark, Department of Conservation. *Report no. 10832-0014-1*.
- Matthiesen, H. 2008b. Groundwater composition at Bryggen in Bergen: temporal and spatial variation, May 2008. Department of Conservation National Museum of Denmark *10832-001*.
- Matthiesen, H. 2009. Modelling decay of organic archaeological deposits beneath Bryggen in Bergen, Norway. Internal report.
- Matthiesen, H. 2010a. Preservation conditions in the area bordering the sheet piling at Bryggen, Bergen: Results from new dipwells MB15, 30, 31, 23 and MB33 installed in 2009. *Report no 11031041*. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.
- Matthiesen, H. 2010b. Seawater intrusion beneath the quayfront buildings of Bryggen, Bergen: Results from new dipwells MB28 and MB29, and from repeated measurements of chloride and sulphate in quayfront dipwells during 2009. *Report no 1829-17*. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.
- Matthiesen, H. 2011. Preservation conditions at dipwells MB34 and MB35 at Finnegården, Bryggen, Bergen. *Report no. 11031261*. National Museum of Denmark, Department of Conservation, Copenhagen.
- Matthiesen, H. 2012. Ground water composition at Bryggen in Bergen: Temporal and spatial variation, autumn 2011. *Report no. 11031267*. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.

Matthiesen, H. 2014b. Groundwater composition around the sheet piling at Bryggen in Bergen: Effects of mitigation work 2012-14. *Report no 11031562*. Copenhagen, National Museum of Denmark, Conservation and Natural Sciences.

Matthiesen, H. 2016. Groundwater composition at Bryggen in Bergen, November 2015: Spatial variation and effects of mitigation. *Report no. 53149* Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.

Matthiesen, H., Dunlop, A.R., Jensen, J.A., de Beer, H. & Christensson, A. 2008. Monitoring of preservation conditions and evaluation of decay rates of urban deposits - results from the first five years of monitoring at Bryggen in Bergen. Kars & van Heeringen (eds.) *Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies, Volume 10: 163-174*. Proceedings from Preservation of Archaeological Remains in situ 3, Amsterdam, December 2006.

Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2011. Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Reopening of testpit from 2006 and installation of monitoring equipment at the rear of Nordre Bredsgården, Bryggen in Bergen. National Museum of Denmark, Department of Conservation, Copenhagen. *Report no 11031047*.

Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2012. Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Results from continuous logging of oxygen, water content and temperature at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen in the period October 2010 to November 2011. *REPORT no 11031263* Department of Conservation National Museum of Denmark.

Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2013. Preservation conditions in unsaturated urban deposits: Results from continuous logging of oxygen, water content and temperature at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen in the period October 2010 to August 2013. *Report no 111031561*. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.

Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2015. Analysis of soil samples from archaeological deposits at Finnegårdsgate6, Bergen *Report no. 11031961* Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.

Matthiesen, H. & Hollesen, J. 2018. Preservation conditions and effects of mitigation in unsaturated urban deposits: Results from environmental monitoring at the rear of Nordre Bredsgården, Bergen, from October 2010 to December 2017. Rapport Nationalmuseet DK. *Rapport no. 53192*.

Matthiesen, H., Hollesen, J., Dunlop, R., Seither, A. & de Beer, H. 2015. In situ measurements of oxygen dynamics in unsaturated archaeological deposits. *Archaeometry*, 57, 1078-1094.

Matthiesen, H., Zimsen, R.V. & Mortensen, M.N. 2013. Measurement of oxygen, nitrate, sulphate and redox potential in microcosms with waterlogged organic cultural deposits *Report 11074722* Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.

Rytter, J. & Schonhowd, I. 2015 (eds.). *Monitoring, Mitigation, Management. The Groundwater Project - Safeguarding the World Heritage Site of Bryggen in Bergen*. Norwegian Directorate for Cultural Heritage, Oslo.

Walpersdorf, E. 2012. Preservation conditions at dipwells MB38 at Bellgården and MB39 at Bryggestredet, Bryggen, Bergen Copenhagen: National Museum of Denmark, Department of Conservation. *Report no. 11031266*.

Walpersdorf, E. 2013. Preservation conditions at new dipwells installed in 2011-12 near the harbour front (MB36, MB37), Bredsgården (MB41, MB42), Enhjørningsgården (FJB3), and at Rosenkrantzgate (MB43) and Lodin Lepps gate (MB44) at Bryggen, Bergen. *REPORT no 11031564* Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation.

Walpersdorf, Eva, Matthiesen, Henning, Vorenhout, Michel, 2012. Comparison between oxygen concentrations and redox potentials measured at the rear of Nordre Bredsgaarden at Bryggen, Bergen, Norway *REPORT no 11031267* Department of Conservation National Museum of Denmark.

7.3 Litteraturliste; Oslo

Amundsen, C.E. & Bergersen, O. 2011. Overvåking av grunnvann i Middelalderparken, Oslo. Resultater fra 2010-11. *Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 67, 2011.*

Amundsen, H.R., Bye Johansen, L.-M., Amundsen, C.E., og Bergersen, O. 2011. Miljøovervåking i Dronning Eufemias gate (DEG), middelalderbyen, Oslo Arkeologisk og jordfaglig undersøkelse med kartlegging av bevaringsforhold og -tilstand samt miljøovervåking av grunnvann og kulturminner, 2010-14. *NIKU Rapport 273. Bioforsk Rapport Nr. 144, 2011.*

Bergersen, O., Hartnik, T. & Molaug, P.B. 2009. Bevaringstilstand og bevaringsforhold i kulturlag i miljøbrønner Oslo gt. 6 og Sørenga. Arkeologisk og jordfaglig vurdering i miljøbrønner. *NIKU Rapport 7/2009. Bioforsk Rapport Vol. 4 Nr. 8, 2009.*

Bergersen, O. 2012. Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo. Statusrapport 2011. *Bioforsk Rapport Vol. 7 Nr. 66, 2012.*

Bergersen, O. 2014b. Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Statusrapport II 2014. *Bioforsk rapport 9 (54) 2014.*

Bergersen, O. & Nytrø, T. E., 2012. Overvåking av miljøbrønner i arkeologiske kulturlag fra Oslo gt. 6, Sørenga og Middelalderparken i Oslo. Statusrapport mai 2010, 2011 til mai 2012. *Bioforsk Rapport VI. 7 Nr. 74, 2012.*

Bergersen, O. 2013. Notat. Statusrapport på overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate fra 2010, 2011 og 2012. *Bioforsk Oslo/Ås.*

Bergersen, O. 2015a. Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Status rapport III 2013 og 2014. *Bioforsk rapport 10 (36) 2015.*

Bergersen, O. 2015b. Forundersøkelse og analyser av jordprøver fra utgraving av Follobanetråse i Oslo. *NIBIO rapport 1 (11) 2015.*

Bergersen, O. 2016. Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Status rapport IV. *NIBIO rapport 2 (98) 2016.*

Bergersen, O., S. Muthulingam & Ø. Johansen 2017. Statusrapport I overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetråse 2016-2023. *NIBIO rapport desember 2017.*

Bergersen, O., S. Muthulingam & Ø. Johansen 2018. Statusrapport II overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetråse 2016-2023. *NIBIO rapport august 2018.*

Bergersen, O., S. Muthulingam & Ø. Johansen 2019. Statusrapport III overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetråse 2016-2023. *NIBIO rapport november 2019.*

Bergersen, O., T. E. Nytrø & Ø. Johansen 2020. Statusrapport IV overvåking av profiler med kulturminner ved Follobanetråse 2016-2023. *NIBIO rapport oktober 2020.*

Bergersen, O. 2020. Miljøovervåking av kulturminner i grunnvannsbrønner i Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo. Sluttrapport 2010 til 2018. *NIBIO rapport Vol. 6 Nr. 96, 2020.*

Bye Johansen, L.-M., Martens, V. V., Bergersen, O. & Hartnik, T. 2009. Grunnundersøkelse i forbindelse med bygging av ny avløpsledning under Middelalderparken og Sørenga. Arkeologisk og

jordfaglig undersøkelse i miljøbrønner. *NIKU Rapport 102/2009. Bioforsk Rapport Vol. 4 Nr. 186, 2009.*

Bye Johansen, L.-M. 2010a. Nedsetting av kummer og logger til Miljøbrønner i Gamlebyen i Oslo. Oslogate 6 og Sørenga. *NIKU Oppdragsrapport 92/2010.*

Bye Johansen, L.-M. 2010b. Nedsetting av kummer og logger til Miljøbrønner i Gamlebyen i Oslo. Midgardsormenprosjektet. *NIKU Oppdragsrapport 93/2010.*

Bye Johansen, L.-M. 2012. Miljøovervåking i Gamlebyen i Oslo. Statusrapport for overvåking av kulturlag 2012. *NIKU Oppdragsrapport 201/2012.*

Derrick, M. 2015. Follobaneprojektet F04 Klypen Øst og Saxegaardsgata 15. *NIKU Oppdragsrapport 40/2015.*

Hegdal, H. 2016. Follobanen F04 Brofundament. *NIKU Oppdragsrapport 154/2016.*

Helstad, M. & Ø. Dahle 2015. Follobanen F04 Klypen Vest. *NIKU Oppdragsrapport 39/2015.*

Haavik, A. & H. Hegdal 2020. Follobanen 2015. Områdene nord for Bispegata. *NIKU Rapport 102.*

Martens, V.V. & Bergersen, O. 2014. Midgardsormen. Overvåking av grunnvann fra miljøbrønner i arkeologiske kulturlag i Middeladerparken, Oslo. Sluttrapport. *NIKU Oppdragsrapport 79/2014. Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 23, 2014.*

Petersén, A. H. & Martens, V. V. 2011. Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo. *NIKU Oppdragsrapport 55/2011.*

7.4 Litteraturliste; Trondheim

Bergersen, O. & Hartnik, T. 2007. Bevaringsforhold i kulturlag ved Petter Egges Plass TA2007/10, Trondheim. Jordfaglig vurdering av miljøforhold på bakgrunn av laboratorieanalyser. *Bioforsk Rapport Vol. 2 Nr.102 2007.*

Bergersen, O. & Hartnik, T. 2008. Tilstandsvurdering av kulturlag i Schultz gate-Trondheim. *Bioforsk Rapport 3 (7). 17 s.*

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

Bergersen, O., T. E. Nytrø & Ø. Rise. 2014. Miljøovervåking av kulturminner i kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita, Trondheim kommune, Sør Trøndelag. Statusrapport I for perioden 2013-2014. *Bioforsk rapport 9/103/2014.*

Bergersen, O. 2016. Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport I per september 2016. *NIBIO rapport Vol 2 (17).*

Bergersen, O. 2016. Miljøovervåking av kulturminner i kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita og Presidentveita i Trondheim Statusrapport II for perioden 2013, 2014 & 2015. *NIBIO rapport 2/64/2016.*

Bergersen O. 2018. Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport II per oktober 2017. *NIBIO rapport Vol 4 (18/00079).*

Bergersen, O. 2018. Jordkjemisk forundersøkelse av Peleprøver fra middelalderen på tomten Søndre gt. 7-11 i Trondheim. *NIBIO Rapport Vol. 4 Nr. 18/00430 2018.*

- Bergersen, O. 2019. Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Statusrapport III per mars 2019. *NIBIO rapport Vol 5 (19/00079)*.
- Bergersen, O. 2020. Miljøovervåking av kulturminner i Kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita og Presidentveita i Trondheim - Sluttrapport 2013 - 2017. *NIBIO rapport 6/98/2020*.
- Bergersen O. 2021. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen før og etter nybygg på tomt i Munkhaugveita 5-7 i Trondheim. Sluttrapport 2015 til og med 2020. *NIBIO rapport Vol 7 Nr. 20 2021*.
- Brink, K. & Petersén, A. 2018 *in prep*. TA 2017/09 Arkeologiske overvåking i forbindelse med etablering av ny teknisk infrastruktur, Søndre gate 7-11, Trondheim, Trøndelag. *NIKU oppdragsrapport 92/2018*.
- Gaut, S. 2017. Miljøovervåking kulturlag Trondheim. Etablering av overvåkingsbrønner ved Peter Egges plass i Trondheim. *SWECO rapport 585811-R01*.
- Gaut, S. 2019. Miljøovervåking kulturlag Trondheim. Etablering av overvåkingsbrønn på Rådhusallmenningen i Trondheim. *SWECO rapport 585811-R02*.
- Petersén, A. 2007. Søndre gate 5 – 11, Dronningens gate 1B, Petter Egges Plass, Trondheim kommune, Sør-Trøndelag Fylkeskommune. Arkeologisk forundersøkelse (tilstandsvurdering av kulturlag) i forbindelse med forslag til reguleringsplan. *NIKU Rapport TA2007/10*.
- Petersén, A. 2013. Plan for miljøovervåking av kulturlag i Trondheim for perioden 2013–2023 Middelalderbyen Trondheim (ID 90288). *NIKU Oppdragsrapport 53/2013*.
- Petersén, A. 2017. Grunnboringer og installasjon for måling av grunnvann, Peter Egges Plass, Søndre gate 9 og Krabugta 2, Trondheim, Sør-Trøndelag. TA 2015/27. *NIKU Oppdragsrapport 161/2015*.
- Petersén, A. & Bergersen, O. 2013. Kvartalet Schultz gate, Munkhaugveita, Presidentveita, Munkegata gnr/bnr 400/21, 102,129, Trondheim kommune, Sør- Trøndelag, (TA 2012/25) NIKU rapport 151/2012. *Bioforsk rapport 8/52/2013*.
- Petersen, A. & Bergersen, O. 2016. In situ preservation in the unsaturated zone: Results from environmental investigations at the “Schultz gate” case study in the medieval town of Trondheim, Norway. *Conservation and Management of Archaeological Sites 2016; Volume 18. (1-3) s. 181-204*.
- Petersén, A. & Halvorsen, I. 2020. TA 2017/ 03, Rådhusallmenningen/Nedre Kjøpmannsgata – MOV, nedsetting av miljøbrønn med kartlegging av kulturlagstilstand og vannforhold Trondheim. *NIKU Oppdragsrapport 38/2017*.
- Petersén, A. & Martens, V. V. 2011. Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo. *NIKU Oppdragsrapport 55/2011*.
- Sæhle, I. A. Petersén, P. Wood, N.E, Valstrand, K. Brink, K. Lorvik. 2021. Arkeologiske undersøkelser i Søndre gate 7-11, Peter Egges Plass, Krabugata 2-4 m.fl., Trondheim, Trøndelag (TA 2016/21, TA 2017/03). Landskapsutvikling, tidlig urban aktivitet og middelaldersk kirkested. *NIKU Rapport 97*.

8 Koordinatliste

Måledata for miljøovervåkingsprogram per middelalderby, Tønsberg, Bergen, Oslo og Trondheim. Disse miljøprofilene og miljøbrønnen har vært eller er aktive i perioden 2010–2021.

For Bryggen i Bergen gis en fullstendig liste over etablerte brønner, men de miljøbrønner som er operative / driftssatte, og som det aktivt importeres data fra per 2021, er merket i fet skrift (Dunlop et al. 2021).

Koordinatliste:			
		X	Y
Tønsberg			
Anders Madsen gate			
	SK1	6570876,809	580126,109
	SK3	6570902,257	580135,104
	SK7	6570948,504	580154,954
Nedre Langgate 43			
	MB1	6570664,248	580135,951
	MB2	6570653,645	580124,682
	MB3	6570659,544	580115,942
	Profil 1	6570666,075	580121,464
Storgaten fjernvarme MOV			
	Fjernvarmegrøft	6570730,988	580186,309
	Referansegrøft	6570735,023	580186,706
Nedre Langgate 19 - Tønsberg 1			
	MP	6570472,273	580285,5
	MB	6570469,96	580285,65
Storgaten 30–32			
	MB5	6570625,407	580200,605
	MB6	6570613,77	580203,38
	MB10	6570635,508	580242,84
Foynkvarialet			
	BP2	6570574,855	580241,211
	BP4	6570559,215	580226,092
	BP6	6570556,348	580244,339
	BP8	6570551,135	580269,884
Bergen			
Vågsbunnen			
Kong Oscars gate			
	KOGTMB1	6701056,23	297765,4
	KOGTMB2	6701111,31	297636,96
	KOGTMB3	6700989,01	297770,06
	KOGTMB9	6701085,5	297733,5
	KO7MB2	6701054,87	297686,75
Nedre Korkirkeallmenningen og Torvet			

	NKMB1	6701016,571	297714,94
	NKMB3	6700986,577	297664,315
	NKMB4	6700972,816	297622,48
	NKMB5	6700949,86	297645,928
	NKMB8	6700990,216	297643,814
Vågsbunnen MOV			
	VMB01	6700927,406	297680,211
	VMB02	6700941,726	297598,416
MABYMOV Vågsbunnen			
	B1	6700927,406	297680,211
	B2 Profil	6701046,93	297732,848
	B3	6701118	297690
Bryggen			
	FB1	6701315,099	297435,437
	FJB1	6701406,610	297497,950
	FJB2	6701350,470	297515,470
	FJB3	6701344,400	297495,800
	MB1	6701336,500	297519,751
	MB2	6701331,949	297507,650
	MB3	6701308,200	297445,900
	MB4	6701333,198	297454,200
	MB5	6701334,650	297455,000
	MB6	6701318,150	297491,299
	MB7	6701377,650	297499,550
	MB8	6701378,350	297500,197
	MB9	6701272,650	297489,600
	MB10	6701277,850	297505,547
	MB11	6701364,950	297606,297
	MB12	6701258,550	297481,400
	MB13	6701356,030	297477,580
	MB14	6701295,750	297534,297
	MB15	6701355,222	297476,607
	MB16	67235,091	59859,478
	MB17	6701357,450	297478,496
	MB18	6701416,400	297390,800
	MB19	6701426,550	297369,300
	MB20	6701413,650	297361,700
	MB21	6701375,150	297502,850
	MB22	6701422,650	297473,095
	MB23	6701344,000	297495,450
	MB24	6701252,996	297486,335
	MB25	6701298,498	297453,172
	MB26	6701299,369	297452,340
	MB27	6701283,982	297470,672
	MB28	6701273,696	297488,494

	MB29	6701289,209	297473,319
	MB30	6701433,789	297503,899
	MB31	6701440,708	297469,206
	MB32	6701395,983	297493,798
	MB33	6701377,098	297492,885
	MB34	6701153,650	297578,500
	MB35	6701153,900	297609,400
	MB36	6701357,480	297379,500
	MB37	6701377,250	297378,400
	MB38	6701314,830	297516,330
	MB39	6701351,310	297514,870
	MB40	6701423,490	297441,370
	MB41	6701366,050	297502,080
	MB42	6701350,100	297486,800
	MB43	6701281,996	297553,780
	MB44	6701231,635	297586,068
	MB45	6701325,340	297449,869
	MB46	6701434,546	297454,437
	MB47	6701432,019	297502,958
	MB48	6701160,800	297595,400
	MB49	6701155,650	297588,850
Oslo			
Peleprosjektet			
	Sørenga	6642292,469	598568,797
	Oslo gate 6	6642375,358	598898,31
Midgardsormen			
	MB6	6642090,44	598677,588
	MB9	6641976,02	598725,4
	MB14	6641957,84	598541,68
	S7	6642325,949	598583,488
DEG-prosjektet			
	MB3	6642351,78	598519,471
	MB4	6642379,949	598552,175
	MB5	6642332,598	598558,334
	MB7	6642348,049	598576,086
	MB8	6642350,378	598579,083
Follobanen MOV			
	Punkt 1	6642212,458	598769,82
	Punkt 2	6642042,255	598718,018
Trondheim			
Schultz gate - Presidentveita			

	Profil Nord	7034222,25	569694,6
	Profil Sør	7034223,44	569694,61
Peter Egges plass / Rådhusallmenningen			
	OB1	7034384,45	569908,81
	OB2	7034420,59	569896,07
	OB3	7034385,6	569943,07
	OB4	7034295,5	569972,8
Søndre gate 7–11			
	Profil 3	7034409,138	569897,349
	Profil 4	7034409,138	569897,349
	Profil 6	7034409,667	569890,37
Munkhaugveita 5–7			
	Hull 1	7034186,443	569699,656
	Hull 4	7034178,308	569712,813
Erling Skakkes gate 3–5			
	MP2	7034114,474	569800,878
	MP3	7034097,638	569799,339

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 114

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