



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Miljøovervåking av kulturminner i grunnvannsbrønner etablert i Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo

Sluttrapport 2010 til 2018

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 96 | 2020



Ove Bergersen

Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Miljøovervåking av kulturminner i grunnvannsbrønner i Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo
Sluttrapport 2010 til 2018

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
17.06.2020	6/96/2020	Åpen	2110790 / 8604	20/00858
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER	ANTALL VEDLEGG:	
978-82-17-02618-1	2464-1162	25	1	

OPPDRAUGSGIVER:

Riksantikvaren, Hovedkontor Oslo
Norsk institutt for kulturminneforskning, NIKU,
Hovedkontor Oslo

KONTAKTPERSON:

Vibeke V. Martens
Monica Kristiansen

STIKKORD/KEYWORDS:

Redoksforhold, bevaringsforhold, kulturminner,
miljøovervåking, grunnvann

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordkvalitet og miljøovervåking av kulturlag og
grunnvann fra middelalderbyen Oslo

SAMMENDRAG/SUMMARY:

I forbindelse med anleggsarbeider for anleggelse av nytt hovedgateløp i Bjørvika-byen, Oslo, er det igangsatt et miljøovervåkningsprogram for å dokumentere bevaringstilstand og bevaringsforhold i kulturlag i området. Flere miljøbrønner var i drift ved oppstart, men pga. ferdigstillelse av trikketrase og vei ble flere avvirket våren 2014. Videre overvåking instrumentert med multiparametersensorer for overvåking av temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensialet i grunnvannet fortsatte i miljøbrønn MB4, sammen med en ny miljøbrønn (MB8) etablert i 2013. Sistnevnte hadde i tillegg oksygensensor. Logger i MB8 ble ødelagt av fuktighet slik at vi mangler data i en periode etter mai 2015 til 2016. De første 3 års overvåking i MB3, MB4, MB5 & MB7 er fremstilt i eget kapittel. De resterende år 2014 og ut måleperioden beskriver overvåkings data fra brønn MB4 og MB8. Det er kun MB4 som har dataserier i alle år. En viktig observasjon er at grunnvannet ble målt under 1 moh. i de første årene i alle aktive brønner, men steg over 1 meter fra 2014 i både MB4 og MB8. En slik økning betyr bedre bevaring av kulturlag i øvre del av boreprofilene analysert i 2010. Temperaturen til grunnvannet har ligget i underkant av 10°C. Lav jordtemperatur sammen med negative redoksverdier og lave oksygenkonsentrasjoner gir en gunstig situasjon for bevaring av kulturminner i Bjørvika. Disse resultatene og egenskapene til grunnvannet som berører resterende kulturminner over, under, eller nær brønnen indikerer gode bevaringsforhold av organisk og uorganisk materiale in Situ for regionen under og etter bygging av ny veitrase.

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

LAND/COUNTRY: Norway
FYLKE/COUNTY: Oslo
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Oslo
STED/LOKALITET: Dronning Eufemias gate

GODKJENT /APPROVED



NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



NAVN/NAME



Innhold

1	Innledning.....	6
1.1	Bakgrunn.....	6
1.2	Målet for prosjektet	8
1.3	Avvik i måleperioden	9
2	Material og Metoder	10
2.1	Naturvitenskapelige definisjoner	10
2.2	Måleparametre.....	10
2.3	Overvåking av miljøbrønnene.	11
3	Resultater	12
3.1	Grunnvannsdata fra miljøbrønn DEG MB3, MB4, MB5 og MB7 i perioden 2010 og ut 2013	12
3.2	Overvåking av temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold i grunnvannsbrønner MB4, MB5 og MB7 i perioden 2011 til mars 2014	13
3.3	Overvåking av temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold i grunnvannet fra DEG, MB4 og MB8 i avsluttende periode 2014-2018	16
4	Konklusjoner	23
	Litteraturreferanser	25
	Vedlegg.....	26

Forord

Denne rapporten er skrevet på oppdrag fra NIKU og Riksantikvaren. NIBIO (tidligere Bioforsk) har i oppdrag å overvåke flere brønner i Dronning Eufemias gate (DEG) over flere år. Rapporten er delt i to deler, resultater fra første periode 2010 til 2014. Resultatene fra disse miljøbrønner ble avviklet tidligere enn overvåkingsperioden på grunn av ferdigstilling av trikk og vei trase i krysset mot Bispegata, Kong Håkons gate 5 og Nordengen bru. Siste del av overvåkingsperioden 2014 og ut 2018 var i brønnene DEG 4 og DEG 8 som er plassert gunstig på hver side av Nordengen bru.

Informasjonen presentert i denne rapporten er basert på data fra 2010 fram til 2018. Hensikten med overvåkingen er å se om grunnvannet og bevaringsforholdene er blitt påvirket før og etter bygging av nye høyhus og veitraseer i området. Grunnvannet er av stor betydning for å bevare og stabilisere fredede kulturlag fra middelalder over tid In Situ.

Teknisk støtte er utført av Srikanthapalan Muthulingam, Thor Endre Nytrøen & Øistein Johansen fra NIBIO.

Prosjektledelse: Ove Bergersen.

Kvalitetssikring av rapporten: Trond Mæhlum

Ove Bergersen



Ås, januar 2020

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

De arkeologiske undersøkelsene i forbindelse med etablering av Dronning Eufemias gate (DEG) i Oslos middelalderby (Gamlebyen) har sin bakgrunn i anlegning av nytt hovedgateløp i området. Tiltakshaver, Statens vegvesen Region Øst (SVRØ), søkte i brev datert 11.6.2010 Riksantikvaren om dispensasjon etter Lov om kulturminner av 9. juni 1978 for fundamentering av østre del av DEG, i krysset mot Bispegata, Kong Håkons gate 5 og Nordengen bru, se oversiktskart (Figur 1). Anlegning av DEG er vedtatt i reguleringsplan for Bjørvika-Bispevika - Lohavn, godkjent 18.6.2004. Tiltaksområdet ligger innenfor fornminneområdet Middelalderbyen Oslo, og tiltaket er godkjent i reguleringsplanen.



Figur 1. Oversiktskart av Bjørvika i Oslo med undersøkelsesområdet markert med svart firkant. Kart: NIKU.

Dronning Eufemias gate er hovedgaten i den nye Bjørvika byen og går fra Tollbugata i vest til kryss mot Kong Håkons gate 5/Bispegata/Østre Tangent i øst. Hovedgaten er 43 meter bred og inneholder kjørefelt for biler, kollektivfelt, sykkelfelt og fortau samt trikke-trase. Utbyggingen av DEG er utført i etapper. Forprosjektet til videre miljøovervåking er beskrevet av Amundsen, H. et al. (2011).

Det ble i tillegg vedtatt (i brev fra Riksantikvaren av 13.8.2010), at det skulle iverksettes et miljøovervåkningsprogram innenfor tiltaksområdet. Det er etablert 4 miljøbrønner som skal overvåke grunnvann og gi informasjon om bevaringsforholdene til kulturlagene som ligger i området i fem år (Bergersen, 2012, Bergersen 2014a). I de siste årene har kun 2 brønner vært tilgjengelige DEG 4 og DEG 8 (Figur 2).

Hensikten med miljøovervåkingen er å undersøke hvorledes kulturlagene kan bli påvirket hvis grunnvannet forandres betydelig etter byggeaktivitet.

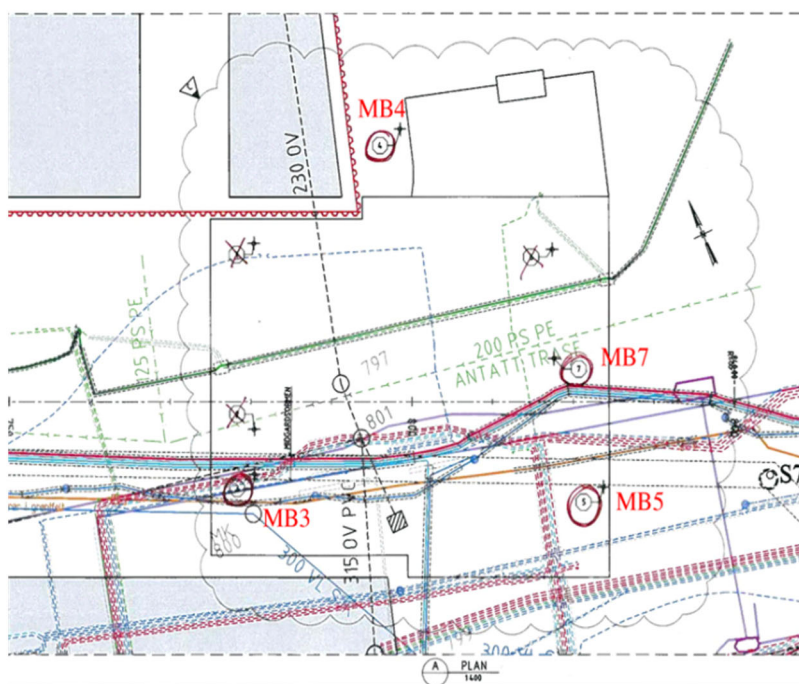
Mekanisk påvirkning: Graving ned i kulturlag forårsaker skade, ikke bare på de deler av lagene som blir direkte berørt, men også indirekte ved at kulturlagene blir mer eksponert for lys, oksygen og nedbør. Mekanisk skade i form av deplassering og redeponering kan således være like ødeleggende.

Tilførsel av oksygen: Tilførsel av oksygen starter nedbrytningsprosesser av kulturlag og organiske så vel som uorganiske gjenstander samt øvrige bestanddeler. Det er derfor viktig at nedgravninger og borehull gjenfylles med tett masse, helst leire.

Temperaturendringer: Økte temperaturer kan føre til høyere biologisk aktivitet og sammen med økt tilgang på oksygen føre til akselerert nedbrytning av kulturlag. I noen tilfelle kan tildekking av kulturlag ha en positiv effekt ved at temperatur-svingninger mellom veldig kaldt og veldig varmt unngås.

Uttørring: Hvis kulturlagene utsettes for uttørring som følge av endrete dreneringsforhold og/eller temperaturøkninger, kan dette føre til at den organiske massen i lagene brytes ned i ujevn takt, raskere enn det ville skjedd naturlig. Dette kan føre til kollaps av kulturlagene som dermed går tapt som kulturminne, gjenstander går tapt som følge av endrete bevaringsforhold, og setningene kan føre til følgeskader på bygninger som står på eller nær lagene. For eksempel kan setninger i fundamentene på bygninger og veier gi konstruksjonsskader i de bærende delene.

Miljøbrønn	X	Y	Z
Deg 3	6642351.78	598519.471	2.849
Deg 4	6642379.949	598552.175	2.445
Deg 5	6642332.598	598558.334	3.125
Deg 7	6642348.049	598576.086	3.99
Deg 8 ny 2014	6642350.378	598579.083	3.691



Figur 2. Oversiktskart over miljøbrønnene med koordinater og høyder for hvert borehull fra starten av. Nye Deg 8 er ikke med på dette kartet men ligger øst for disse, se figur 3.



Figur 3. Oversikt over miljøbrønner ved Bispegaten, Bjørvika, Oslo. Eldre miljøbrønnene DEG 4 ved nybygg, og den nye på fortau av Bispegata DEG 8. (Foto Google Earth)

1.2 Målet for prosjektet

Målet med prosjektet var følgende:

- Overvåke grunnvannsnivå og vurdere bevaringsforholdene til kulturlagene i anleggsområdet under og etter arbeidet med å etablere nytt hovedgateløp i området.

Denne sluttrapporten presenterer status og resultater fra overvåkningsprogrammet for alle DEG miljøbrønner i området.

DEG MB3, MB5 og MB7 ble avviklet på grunn av ferdigstilling av veitrase for trikk og vei trase i krysset mot Bispegata, Kong Håkons gate 5 og Nordengen bru (Bioforsk rapport 9 (54) 2014). Prosjektleder hos NIKU var Lise Marie Bye Johansen som etterfulgt av Vibeke V. Martens.

I siste del av overvåkingsperioden gjenstår data fra de to brønnene DEG MB4 og DEG MB8 som er plassert gunstig på hver side av Nordengen bru. DEG MB4 er igjen fra oppstarten i 2010, mens DEG MB8 er en ny etablert brønn i 2013 i eget overvåkingsprosjekt ved Monica Kristiansen som prosjektleder hos NIKU. Disse er blitt rapportert sammen i statusrapporter fra 2013 og ut måleperioden 2018. DEG MB4 skulle i planen være avsluttet, men siden flere av DEG brønnene er blitt avviklet før overvåkingsperioden var avsluttet, har NIBIO etter ønske fra NIKU og Riksantikvaren valg å fortsette videre overvåking av denne brønnen og sammenstilt resultatene med den nye DEG MB8 som skulle overvåkes til 2018. Disse to brønnene er faglig interessante siden de står plassert motsatt overfor hverandre ved den nye Nordengen bru. På den ene side er det bygget høye hus, mens på den andre side er det ikke vært særlig byggeaktivitet.

Oversikt over bevaringsforholdene i kulturlagene fra miljøbrønnene DEG MB3, MB4, MB7 og MB8 ved oppstarten av overvåkingen er illustrert i vedlegg 1. DEG MB5 ble ikke forundersøkt med kjemisk analyse Illustrasjonen viser også målt grunnvannsnivå før overvåkingen startet.

1.3 Avvik i måleperioden

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 3, 5 og 7 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 Material og Metoder

2.1 Naturvitenskapelige definisjoner

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

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

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

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

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 reducerende (reduktive) forhold, men i hvilken grad forholdene er reducerende, varierer.

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

2.2 Måleparametre

Stabilt eller fluktuerende grunnvann:

De beste bevaringsforholdene for kulturminner i jord har vi under anaerobe forhold med reduserte redoksforhold. Ofte er slike miljøer vannmettet under grunnvannsnivået. Eksempel på slike stabile steder er torvmyrer.

Andre miljøforhold som vil påvirke bevaring av kulturlag er massenes permeabilitet og vannmetning. Dette vil styre gjennomstrømming av (oksygenrikt) vann gjennom massene og diffusjon av oksygen i porene. Grunnvann som fluktuerer ofte på grunn av mye nedbør kan skade kulturlag.

pH og ledningsevne i grunnvannet som omgir kulturlagene:

Grunnvannets elektriske ledningsevne sier noe om mengden ioner i vannet. Endringer i elektrisk ledningsevne skyldes bl.a. inntrengning av regnvann/smeltevann (gir oftest en lavere ledningsevne). Grunnvann som er lite påvirket av nedbør og som er i likevekt med jord eller fjell, har oftest høyere elektrisk ledningsevne. Høyt salt-innhold virker ofte beskyttende for treverk.

Syre og løselige salter medfører korrosjon av metalloverflater. Økende surhet og saltkonsentrasjon vil framskynde korrosjon av metallgjenstander og forvitring av bein.

Elendige og dårlige bevaringsforhold ut fra redoksmålinger trenger ikke alltid å gi riktig logisk svar ut fra arkeologiske gjenstander og spor som ikke brytes ned. Stein, gull, metallgjenstander og bein er ofte godt beskyttet hvis de ligger tørt og pH er basisk og ikke sur. Slike områder er ofte knyttet til bosetninger.

Temperatur som omgir kulturlagene

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

Jordfuktighet

Høy jordfuktighet har lite plass til luftfylte porer. Tørre kulturlag sammen med høy jordfuktighet med vannfylte porer er beskyttende. Svingninger i jordfuktighet mellom fuktige og tørrere forhold vil være ugunstig for å beskytte organiske kulturlag.

2.3 Overvåking av miljøbrønnene.

Overvåkingen av MB3, MB5 og MB7 er avvirket tidligere pga. ferdigstillelse av Dronning Eufemias gate og rapportert (Bergersen, O. 2012, 2014b). MB8 ble etablert og først rapportert i 2014 (Bergersen, 2014a). I 2015 og 2016 ble overvåking av begge brønner skrevet sammen i status rapport III & 2016 (Bergersen, 2015) og (Bergersen, 2016).

Overvåking av grunnvannets bevaringsforhold i miljøbrønnene skal foregå i minst fem år under og etter at anlegget er ferdigstilt. Grunnvannet overvåkes ved hjelp av sensorer koblet til automatiske logger fra SEBA Hydrometrie GmbH (Tyskland). Overføring av loggerdata skjer via GSM kommunikasjon, men loggerne må vedlikeholdes og kalibreres per år. Grunnvannet er blitt overvåket i alle brønner. I tillegg er miljøbrønn MB4, 5 og 7 etablert med multiparameter sensor som også informerer om temperatur, pH, ledningsevne (ionestyrke) og redoksforhold. Disse parameterne er nødvendige for å kunne si om grunnvannet vil påvirke kulturlagene i en negativ retning. En slik multiparameter sensor er også plassert i MB8, og har optisk oksygensensor i nedre måleområde 0,1 mgL⁻¹ til full metning i tillegg.

Loggeren var en SEBA Datalogger type Slimcom -2 GSM med multisensorer type MPS-D8 som registrerer vannstand, temperatur, pH, redoks og konduktivitet (el. ledningsevne) og oksygen. I miljøbrønn MB3 var det SEBA Datalogger type Log-com med sensorer type MPS-D3 som registrerer kun grunnvann. Plassering av alle brønnene er vist i figur 2 og 3.

Teknisk støtte er utført av Srikanthapalan Muthulingam, Thor Endre Nytrøen & Øistein Johansen fra NIBIO

3 Resultater

3.1 Grunnvannsdata fra miljøbrønn DEG MB3, MB4, MB5 og MB7 i perioden 2010 og ut 2013

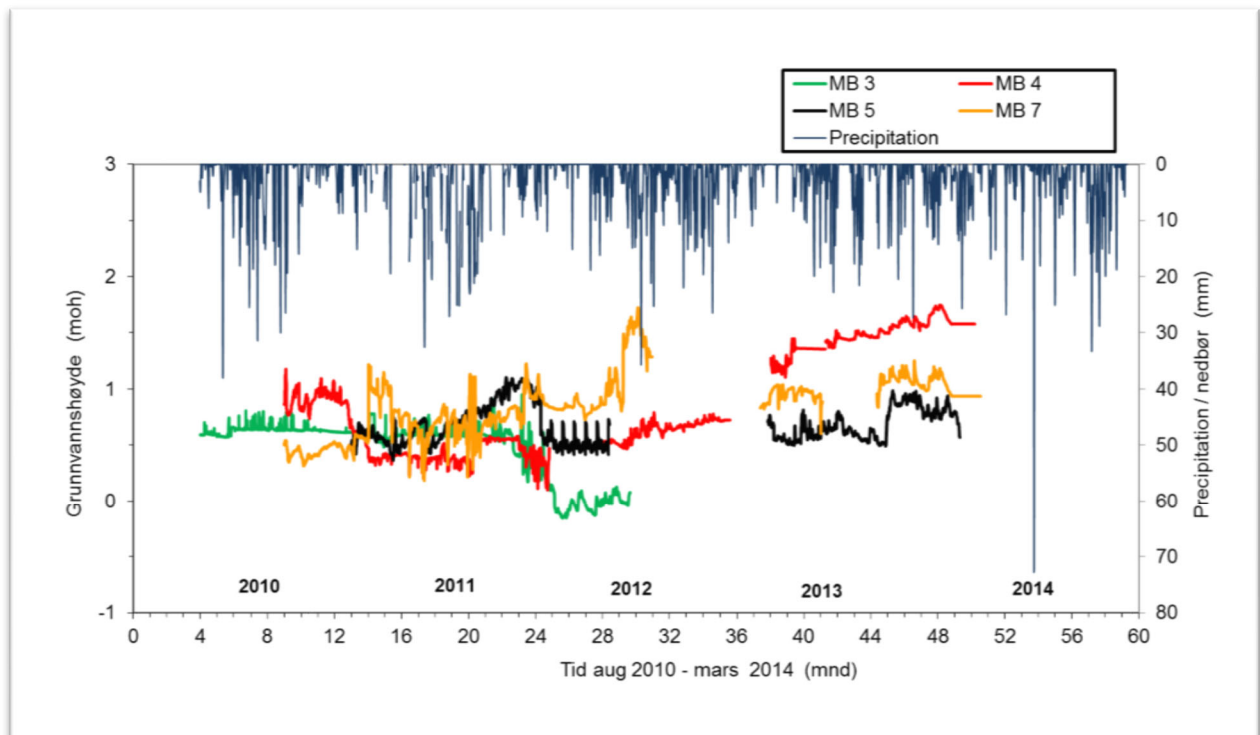
Grunnvannshøyden i moh. fra alle fire miljøbrønner i perioden 2010 til 2013 er vist i figur 4. Resultatene er sammenstilt med nedbørsdata fra området. I tabell 1 vises laveste og høyeste registreringer sammen med gjennomsnitt og median beregninger for hver brønn. Alle brønnene viser variasjon i grunnvannet i nedbørsrike perioder gjennom overvåkingsperioden hvor det var stor arbeid og byggeaktivitet i området. Likevel viser beregninger at gjennomsnittet, medianen og minimum har like grunnvannivåer brønnene seg i mellom (Tabell 1). Det er påvist forskjeller i maksimumsverdien mellom fra brønn MB5 og MB3 (1.0 moh.) og MB4 og MB7 (1.7 moh.). Lavest grunnvannsnivå ble målt til 0,1-0,4 moh., hvor lavest verdi (-0,2 moh.) målt i MB3 våren 2012.

Tabell 1. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av grunnvann i moh., målt i miljøbrønnene MB3, MB4, MB5 og MB7 i måleperioden 2010 og ut 2013.

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
Snitt	0.59	0.70	0.67	0.73

** Median verdi: I statistikk er median et sentralitetsmål som defineres som verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer. Fordelen ved å bruke median i forhold til middel eller gjennomsnittverdi er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som blant annet kan fremkomme ved målefeil).*

Variasjonen kan relateres til nedbørsmengder som sees i flere av brønnene. Grunnvannet synker noe i tørrere perioder i vinterhalvåret. Lavest grunnvann ble målt i MB3 som er brønnen nærmest sjøsiden (Tabell 1 & Figur 4). Vi vet ikke om det er installert grunnvannspumper i dette området pga. byggeaktivitet. Gjennomsnittet og medianverdiene beregnet av grunnvannsnivået lå på 0,6-0,7 moh. i alle grunnvannsbrønner som viser at grunnvannet ikke har forandret seg mye i perioden 2010 til 2013 (Tabell 1). Kulturlag som ligger på grunnvannivå mellom 0,1 og 1,7 moh. står ikke i fare for å tørke ut og brytes ned. Vedlegg 1 illustrerer at de best bevarte kulturlag påvist i disse brønner under forundersøkelsen ligger fortsatt i grunnvannsmettet sone og vil være beskyttet.



Figur 4. Grunnvannshøyde målt moh. i miljøbrønnene DEG MB3, MB4, MB5 og MB7 fra Dronning Eufemias gt. Bjørvika 2010 og ut 2013 sammenstilt med mm nedbør per dag, data fra www.yr.no.

3.2 Overvåking av temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold i grunnvannsbrønner MB4, MB5 og MB7 i perioden 2011 til mars 2014

Multiparameter sensorer ble satt inn i miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 fra 2011 og fram til 2014 hvor MB5 og MB7 ble avviklet pga. ferdigstillelse av Nordengen bru og nytt kryss i enden av planlagt trikketrasé. Resultater fra overvåking av grunnvanns temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensialet foreligger for miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 fra mars 2011 og til mars 2014 (Figur 5). Dataene er også beregnet og vist som maks, min, median og gjennomsnittsverdier (Tabell 2).

Temperatur

Resultatene fra overvåkningsprogrammet viser at forholdene i mettet sone er stabile. Temperaturen i grunnvannet svinger med utetemperaturen gjennom årstidene, men variasjonene er små. Forskjell mellom høyeste og laveste grunnvannstemperatur er på 5-11 °C. I MB7 ble det beregnet noe høyere grunnvannstemperatur fra 5-13.4 °C. Allikevel gjennomsnitt og median verdiene beregnet lå alle under 10 °C (Tabell 2). Dette er positivt ved at store temperatursvingninger unngås. Temperaturer i grunnvann lavere 10 °C gir minimal mikrobiell nedbrytningsaktivitet både med eller uten luft til stede. Dette vil være beskyttende for kulturlag og større trestrukturer fra Middelalder. Studier på nedbryting av organisk materialet i kulturminneprøver ved NIBIO (Petersen, Anna Helena & Bergersen, Ove, 2015) og undersøkelser utført ved Nationalmuseet i Danmark (Hollesen & Matthiesen, 2011) viser at ved omkring 10 grader skjer det svært lite, mens fra 10 og 15 °C øker nedbrytningshastigheten vesentlig, spesielt med oksygen tilgjengelig. Uten oksygen til stedet vil tungt nedbruttbart materiale som for eksempel trevirke være mer beskyttet over tid.

pH

Som vist i tabell 2 er pH er stabil på omkring 7.0 -7.2 målt som median og gjennomsnittverdier i alle tre brønner under arbeidsperioden. Størst variasjon i pH er målt i MB5, der pH var lav (pH 6) i deler av 2011, men har stabilisert seg og faktisk økt oppover mot 7.8 i resten av overvåkingsperioden. pH sank noe i MB4 og MB7 mot slutten av måleperioden men ikke mye (Figur 5). Disse nøytrale verdier er gunstig for bevaring av metallgjenstander og bein.

Tabell 2. Maks-, min-, median og gjennomsnittverdier av temperatur, redoksforhold, pH og ledningsevne, målt i miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 i måleperioden mars 2011 til mars 2014.

Temp	MB4	MB5	MB7	Redoks	MB4	MB5	MB7
	°C	°C	°C		mV	mV	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
Gj.Snitt	8.8	9.0	9.5	Gj.Snitt	-420	-459	-453

pH	MB4	MB5	MB7	Ledningsevne	MB4	MB5	MB7
					mScm-1	mScm-1	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
Gj.Snitt	7.1	7.1	7.0	Gj.Snitt	25.1	18.2	26.8

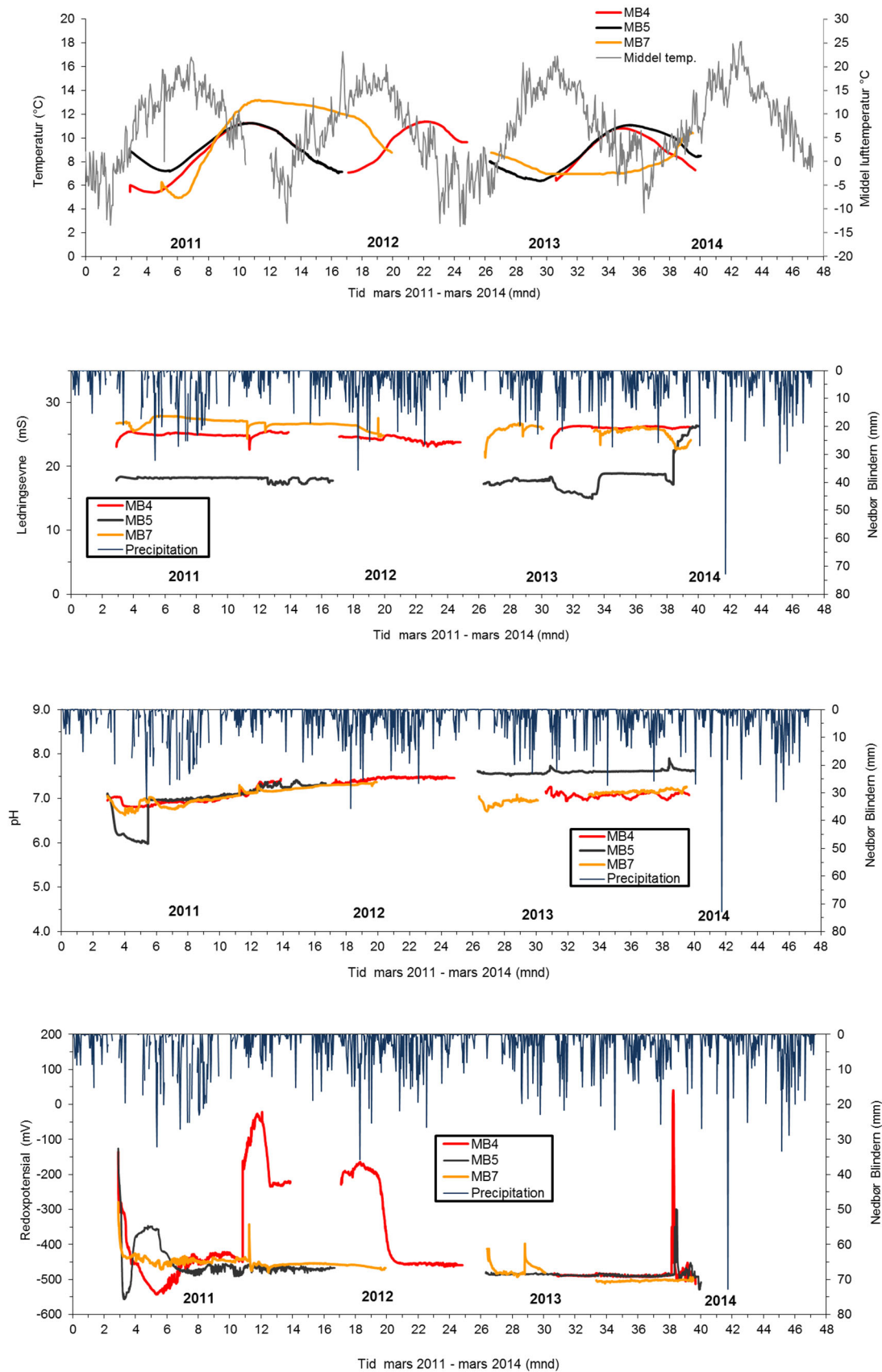
* Median verdi: I statistikk er median et sentralitetsmål som defineres som verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer. Fordelen ved å bruke median i forhold til middel eller gjennomsnittverdi er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som blant annet kan fremkomme ved målefeil).

Ledningsevne

Ledningsevne varierer lite mellom de tre brønnene bortsett fra MB5 som viser noe lavere verdier på 17-18 mScm⁻¹, men for hver brønn er det stabile målinger og som i liten grad påvirkes av nedbør (Figur 5). Alle brønnene viser at grunnvannet er sjøvannspåvirket med beregnet gjennomsnitt og medianverdier i ledningsevne på 25-27 mScm⁻¹ i MB4, MB7 og noe lavere i MB5 på 18,2 mScm⁻¹ (Tabell 2).

Redokspotensialet

For alle tre miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 viser negativt redokspotensialet i grunnvannet og at kulturlagene ikke tilføres oksygenrikt grunnvann som kan starte nedbrytningsprosesser av kulturlagene. I brønn MB4 har redokspotensialet variert noe mer gjennom måleperioden, men beregnet gjennomsnitt har vært -420 til -450 mV i starten av 2014. Dette kan ses i sammenheng med liten senkning av grunnvannsnivået i samme periode (Figur 4 & figur 5). Redokspotensialet i MB4 har stabilisert seg på ca. -420 mV i løpet av perioden 2012 og mars 2014 og lå på samme nivå som MB5 (-460mV) og MB7 (-450mV). Ingen av brønnene viser at oksygen har trengt ned i grunnvannet og påvirket nærliggende kulturlag i måleperioden. Beregnet min, max, gjennomsnitt og medianverdier av redoksforholdene er beregnet i perioden 2011 til mars 2014, og vist for alle tre brønner (Tabell 2).



Figur 5. Grunnvannets temperatur, ledningsevne, pH og redoksforhold i miljøbrønnene DEG (MB4, MB5 og MB7) fra Dronning Eufemias gt. Bjørvika mars2011 og til mars 2014 sammenstilt med døgnmiddel utetemperatur og mm nedbør per dag, data fra www.yr.no)

3.3 Overvåking av temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold i grunnvannet fra DEG, MB4 og MB8 i avsluttende periode 2014-2018

Etter at Nordengen bru, trikketrasé og veikryssset i Dronning Eufemias gt. ble ferdigstilt i 2014 var kun to tilgjengelige miljøbrønner igjen. Videre overvåking av området omkring Dronning Eufemias gt. i Bjørvika foregikk gjennom miljøbrønnene MB4 som lå nært spunt- og anleggsområdet for bygging høyhusene vest for Nordengen bru og den nye etablert MB8 på østsiden av Nordengen bru nå på fortau etablert i 2013 (Kart vist i figur 2). Siden disse ligger i nærheten av hverandre på hver sin side av Nordengen bru vil disse gi nyttig informasjon om grunnvannsspeilet har forandret seg eller vil forandre seg fremover i tid. Resultater viste ganske stabile grunnvannsnivåer, temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensialet, målt i miljøbrønnene MB4 og MB8 fra flere status rapportert i perioden 2014 til 2016. (Bergersen, O. 2015 & Bergersen, O. 2016).

Sluttrapporteringen fra siste overvåkingsperiode strekker seg fra 2014 til ut i 2018. Rapporten viser data kurver for hele perioden i figurer 6, 7 & 8 over måleparameter i MB4 fra 2013 til sept 2018 og MB8 fra desember 2013 til jan 2019. Beregninger av, min, maks, median og gjennomsnittsverdier i MB4 for årene 2014, 2015, 2016 og 2017 til 2018 er illustrert i tabell 3. De samme beregninger for miljøbrønn MB8 er illustrert i to perioder i tabell 4. Medianen* på dataseriene for alle sensorer fra hver brønn kan vise evt. større forskjeller mellom brønnene. I tillegg til de faste måleparametere ble det også målt oksygen innhold i grunnvannet fra miljøbrønn MB8.

Tabell 3. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av grunnvann, temperatur, pH og ledningsevne, målt i miljøbrønnene MB4 i måleperioden 2014, 2015, 2016 & perioden (2017 til sept. 2018).

Grunnvann 2014	MB 4 moh	Temperatur 2014	MB 4 °C	Redoksforhold 2014	MB 4 mV	pH 2014	MB 4	Ledningsevne 2014	MB 4 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	MB 4 moh	Temperatur 2015	MB 4 °C	Redoksforhold 2015	MB 4 mV	pH 2015	MB 4	Ledningsevne 2015	MB 4 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	MB 4 moh	Temperatur 2016	MB 4 °C	Redoksforhold 2016	MB 4 mV	pH 2016	MB 4	Ledningsevne 2016	MB 4 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	MB 4 moh	Temperatur 2017 til 2018	MB 4 °C	Redoksforhold 2017 til 2018	MB 4 mV	pH 2017 til 2018	MB 4	Ledningsevne 2017 til 2018	MB 4 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

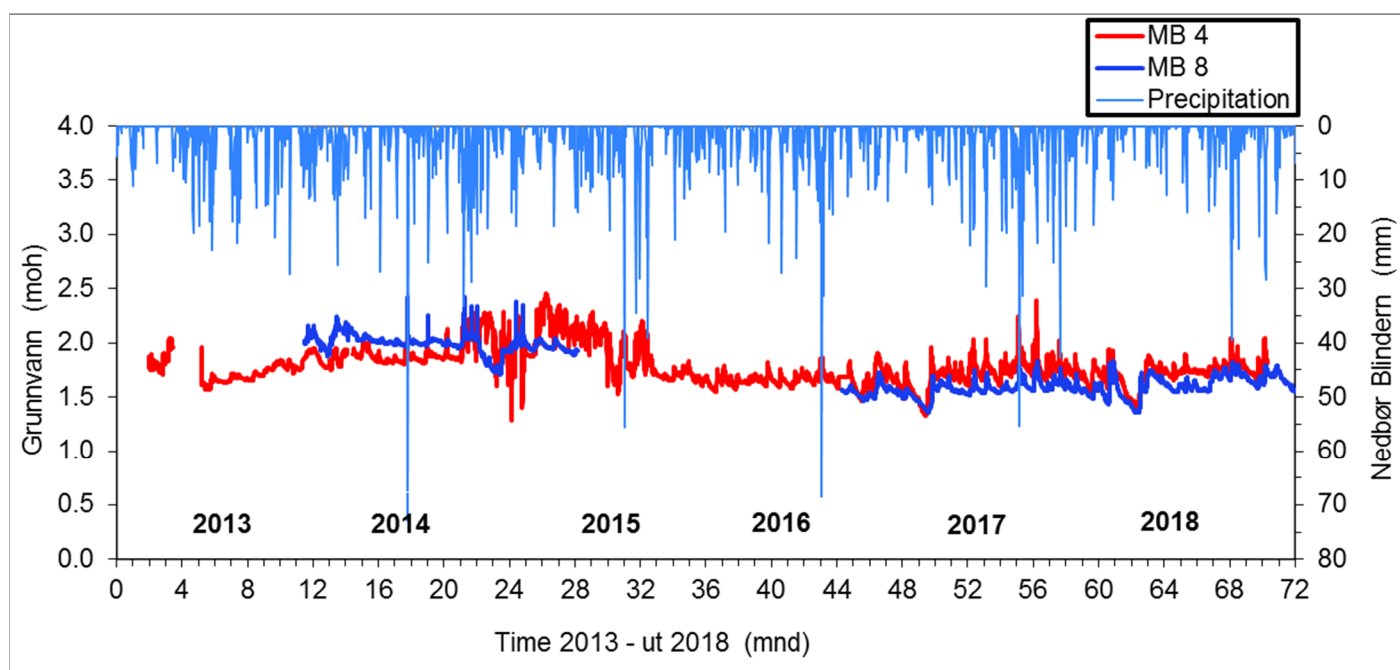
* Median verdi: I statistikk er median et sentralitetsmål som defineres som verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer. Fordelen ved å bruke median i forhold til middel eller gjennomsnittverdi er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som blant annet kan fremkomme ved målefeil).

Tabell 4. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av grunnvann, temperatur, redoksforhold, pH, ledningsevne og oksygen innhold målt i miljøbrønnen MB8 i måleperiodene (2014 & 2015) og (2016, 2017 & 2018).

Grunnvann 2014 & 2015	MB 8 moh	Temperatur 2014 & 2015	MB 8 °C	Redoksforhold 2014 & 2015	MB 8 mV	pH 2014 & 2015	MB 8	Ledningsevne 2014 & 2015	MB 8 mS cm ⁻¹	Oksygen 2014 & 2015	MB 8 mgL ⁻¹
Min	1.7	Min	7.8	Min	-500	Min	6.6	Min	18.1	Min	0.114
Max	2.4	Max	10.9	Max	-216	Max	7.6	Max	23.4	Max	0.133
Median	2.0	Median	9.0	Median	-452	Median	7.1	Median	22.6	Median	0.124
Gjennomsnitt	2.0	Gjennomsnitt	9.2	Gjennomsnitt	-448	Gjennomsnitt	7.1	Gjennomsnitt	21.8	Gjennomsnitt	0.124

Grunnvann 2016 & 2018	MB 8 moh	Temperatur 2016 & 2018	MB 8 °C	Redoksforhold 2016 & 2018	MB 8 mV	pH 2016 & 2018	MB 8	Ledningsevne 2016 & 2018	MB 8 mS cm ⁻¹	Oksygen 2016 & 2018	MB 8 mgL ⁻¹
Min	1.4	Min	7.5	Min	-502	Min	7.4	Min	17.7	Min	0.100
Max	1.8	Max	10.5	Max	-493	Max	7.6	Max	20.8	Max	0.136
Median	1.58	Median	9.3	Median	-496	Median	7.4	Median	20.2	Median	0.130
Gjennomsnitt	1.6	Gjennomsnitt	9.2	Gjennomsnitt	-496	Gjennomsnitt	7.4	Gjennomsnitt	19.8	Gjennomsnitt	0.130

* Median verdi: I statistikk er median et sentralitetsmål som defineres som verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer. Fordelen ved å bruke median i forhold til middel eller gjennomsnittverdi er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som blant annet kan fremkomme ved målefeil).



Figur 6. Grunnvannshøyde målt i moh. fra miljøbrønnene MB4 og MB8, Dronning Eufemias gt. i Bjørvika 2013 ut 2018 sammenstilt med mm nedbør per dag målt i samme periode (data fra www.yr.no). MB8 ble etablert og startet des. 2013, trøbbel med utstyret ga manglende data fra mai 2015 til sept. 2016.

Grunnvannshøyde

Brønnene viser fluktuering i grunnvannsnivå i nedbørsrike perioder gjennom overvåkningsperioden (Figur 6). Minimumsverdi var varierte i MB4, men var aldri lavere en 1,3 moh. (2015) og varierte opp til 1,6 moh. i 2014 (Tabell 3). Gjennomsnitt beregningene var 1,9 i 2014 og 2015 og sank til 1,7 moh. i 2016 til 2018. Miljøbrønn MB8 hadde i gjennomsnitt grunnvannspkt. på 2.0 moh. i de første årene 2014 og 2015, men sank til 1.6 moh. i 2017 og 2018 (Tabell 4). Gjennomsnittet og medianen beregnet viste små forskjeller i begge brønner som indikerer at nivåene ikke har svingt mye grunnvannsbrønnene seg i mellom. Begge miljøbrønnene viste noe mer fluktuasjon i 2014 til 2015 og i slutten av måleperioden som ser ut til å være nedbørspåvirket. Begge brønner viser noe reduksjon i grunnvann i perioder som kan relateres til noe mindre nedbørsmengder. Noen forskjeller i grunnvannets nivå er observert mellom vinter og sommer. Fluktueringen av grunnvannet kan påvirke bevaringsforholdene

til kulturlagene. Kulturlag som ligger omkring kote +2.0 moh. og nedover i området rundt MB8 er vannmettet har gode bevaringsforhold og står ikke i fare for å tørke ut og brytes ned ved tilførsel av luft. I MB4 er alle kulturlagene godt bevarte og vannmettet fra kote +1.9 moh. og nedover (Vedlegg 1). Alle kulturlagene ligger omgitt av tykk blåleire. Laveste grunnvannnivå ble i kortere perioder med lite nedbør målt mellom 1.3 - 1.6 moh. i MB4 og 1,4 – 1,7 moh. i MB8. De høyeste nivåer ble påvist i de nedbørsrike år 2015 og 2017.

Det er derfor ikke påvist store forskjeller i grunnvannsnivå i MB4, som står på den siden av Nordenga bru som teoretisk kan bli påvirket av byggeaktivitet av høye hus, sammenliknet med miljøbrønn MB8 på østsiden av broen som ikke er berørt av byggeaktivitet.

Resultater fra grunnvannsovervåkingen i perioden 2014 til 2018 av temperatur, pH, og ledningsevne foreligger for miljøbrønnene MB4 fra feb. 2013 og til sept 2018. For miljøbrønn MB8 som ble startet des. 2013 stoppet lagring av data i logger etter mai 2015, men vi fikk skiftet til ny logger i 2016 som fungerte ut måleperioden. Det samme gjelder for målinger av redokspotensialet og oksygen i miljøbrønn MB8. Figurene 7 og 6 viser grafer basert på dette datagrunnlaget. Beregnede min, maks, gjennomsnitt og medianverdier for miljøbrønn MB4 er basert på ulike år med unntak av 2017 og 2018 som er slått sammen (Tabell 3). For miljøbrønn MB8 som har hull i datarekke ble sistnevnte beregninger utført i perioden 2014 til 2015 og 2016 til 2018 (Tabell 4).

Temperatur

Resultatene fra overvåkningsprogrammet viser at forholdene i grunnvannet er stabile. Temperaturen i grunnvannet svinger med utetemperaturen gjennom årstidene og variasjonene er små. Forskjell mellom høyeste og laveste temperatur er på 5 °C (2014), 3,5 °C (2015), 3 °C (2016) og 2 °C (2017 til 2018) i MB4 (Tabell 3). Gjennomsnitt og median verdiene beregnet ligger på 9-10 °C de første år, men viste en økning til 11 °C de siste år.

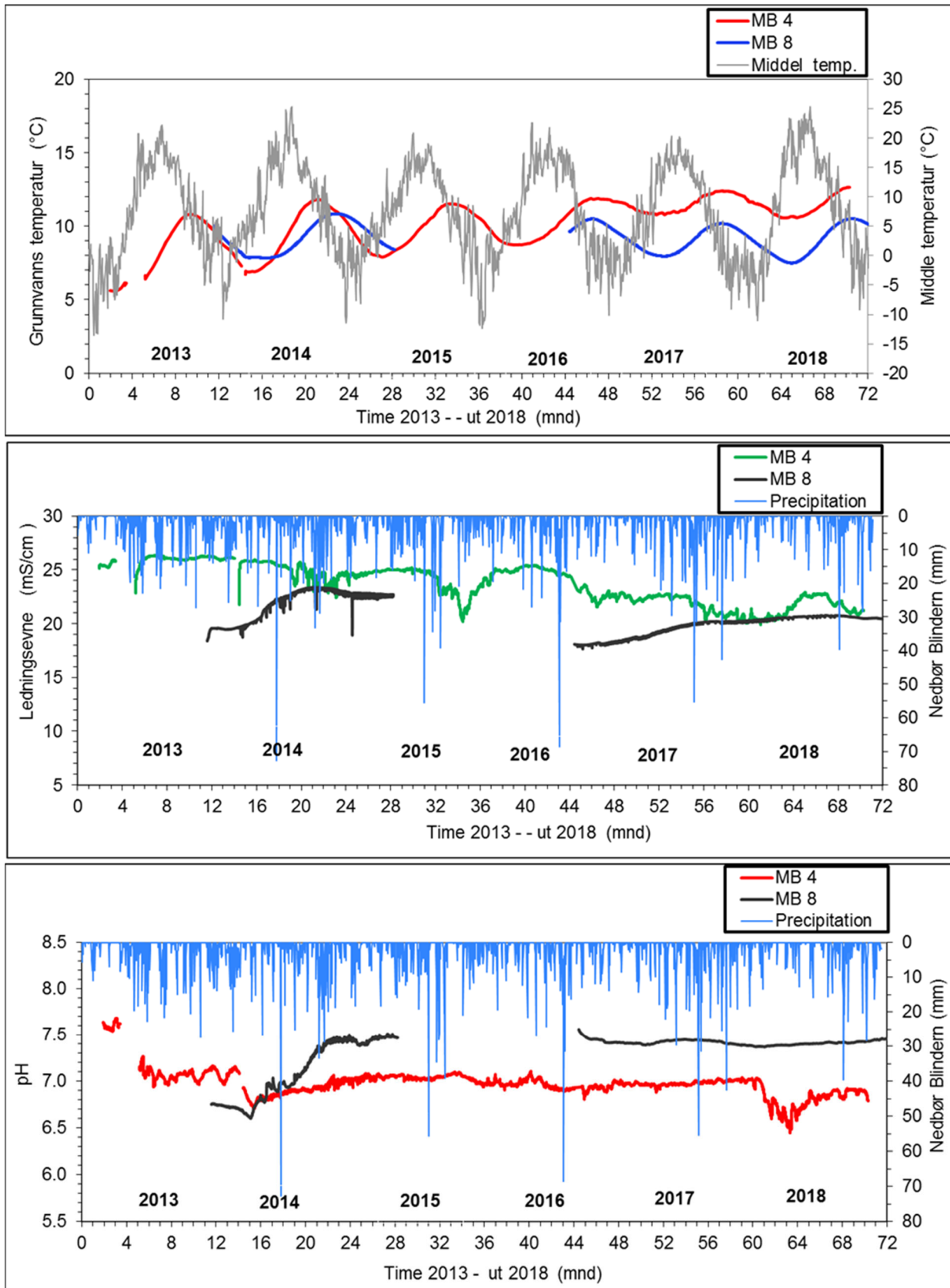
Tabell 1 viser også at grunnvannet i MB8 varierte 3.0 °C i begge perioder (2014&2015) og (2016 til 2018) med et beregnet gjennomsnitt på 9.2 °C som er litt lavere enn MB4 (Tabell 4). Dette er positivt ved at store temperatursvingninger unngås og at grunnvannet ligger i snitt nær 10°C som gir lav nedbrytingsrate hvis oksygen skulle nå ned til kulturlagene (Hollesen & Matthiesen, 2011, Petersén & Bergersen 2016).

pH

pH er blitt målt stabil i det nøytrale området omkring 7.0 beregnet som median og gjennomsnittverdier i MB4 for årene 2014 til 2018 (Tabell 3). Målinger i MB8 fra perioden 2014 til 2015 viste gjennomsnittverdier i det nøytrale området på 7.1, etterfulgt av en svak økning i siste del av overvåkingsperioden til pH 7.4 (Tabell 4 & Figur 7). Det samme skjedde tidligere i miljøbrønn MB5 som er den brønn som ligger nærmest MB8 (se figur 5). Denne observerte økning er noe vanskelig å forklare siden ledningsevne sank i samme tidspunkt.

Ledningsevne

Ledningsevnen, som angir vannets innhold av løste salter, varierer lite mellom de to brønnene. Forskjellen mellom dem er omkring 3 mScm⁻¹. MB4 viser ett gjennom snitt på 24-25 mScm⁻¹ i 2014 til 2016, og sank til 22 mScm⁻¹ i 2017 og 2018 (Tabell 3). MB8 viste ledningsevne på 22 mScm⁻¹ i 2014 og 2015 fram til sommeren 2015, og sank til 19,5 mScm⁻¹ i 2017 og 2018. Figur 7 viser at ledningsevnen sank til 19 mScm⁻¹ i en periode med variasjon i nedbørsperiode høsten 2015 i MB4, mens den fluktuerte mindre i MB8. Begge brønnene viser at grunnvannet er sjøvannspåvirket med ledningsevne rundt 20 mScm⁻¹ (Tabell 3 & 4).

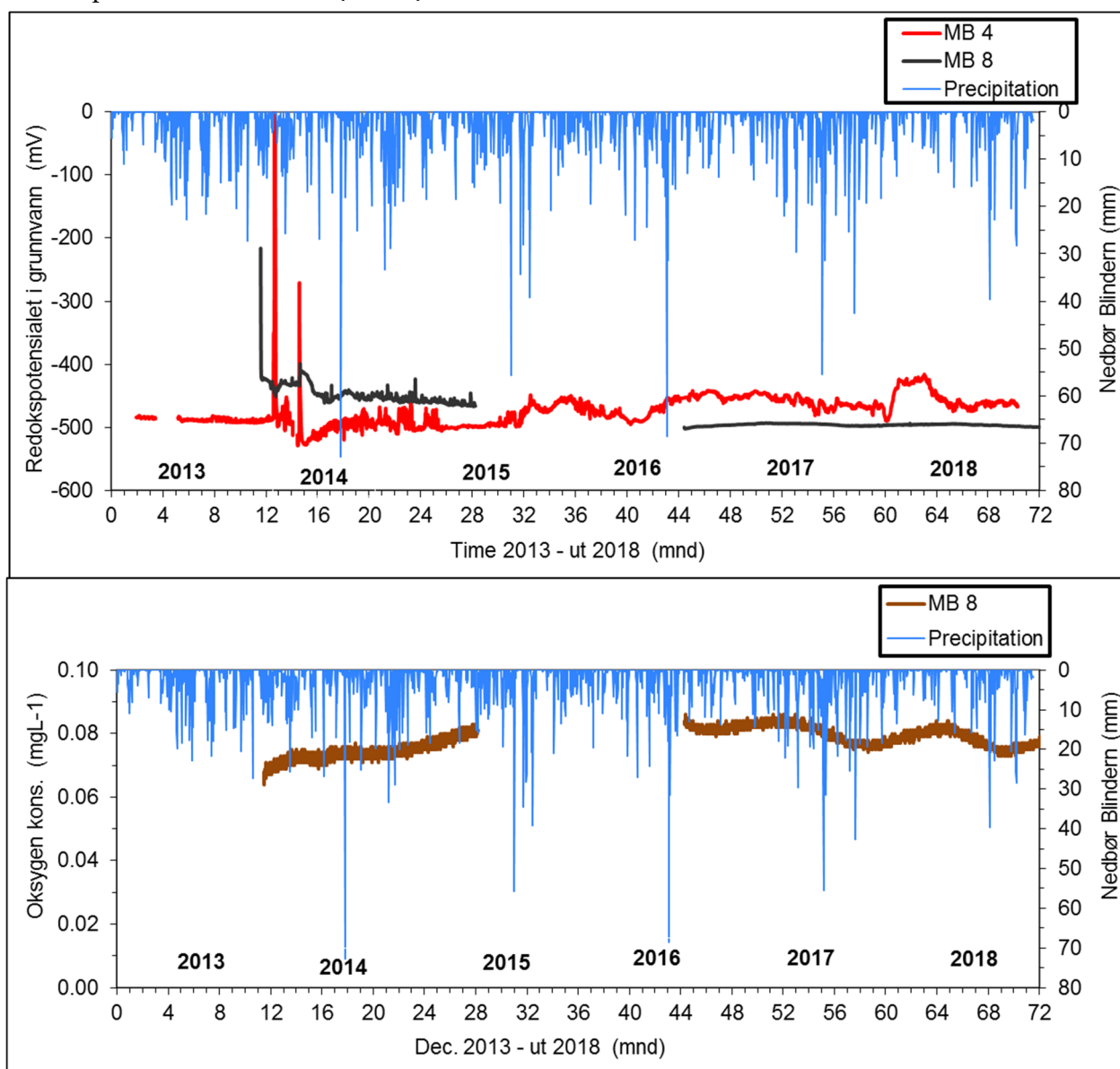


Figur 7. Overvåking av grunnvannstemp., ledningsevne og pH, målt fra Dronning Eufemias gt. i Bjørnvika. MB4 og MB8 fra perioden feb. 2013 ut 2018. MB8 ble startet des. 2013 trøbbel med utstyret ga manglende data fra mai 2015 til sept. 2016. Resultatene er sammenstilt med døgngjennomsnitt utetemperatur og mm nedbør per dag målt i samme periode (data fra www.yr.no).

Redokspotensialet og oksygen innhold

Overvåking av grunnvann i denne typen miljøbrønner bør inneholde sensorer som måler redokspotensialet for å vurdere om oksygen er til stede, noe som kan forringe nærliggende kulturlag. I tillegg til redoksforhold ble det også målt løst oksygen i MB8.

Brønnene MB4 og MB8 viser gjennomsnittlig negative redoksverdier i hele siste del av overvåkings periode (Tabell 3 & 4), noe som tilsier at det ikke tilføres friskt oksygen til grunnvannet som kan starte og påvirke nedbrytningsprosesser av de organiske kulturlagene. I brønn MB4 har redokspotensialet variert lite gjennom måleperioden fra mars 2014 til sept. 2018, med gjennomsnitt og median beregnet til mellom -490 opp til -450 mV (Tabell 3 og Figur 8). Redokspotensialet i MB8 har stabilisert seg fra -450 mV fra mars 2014 til -496 mV i løpet av måleperioden ut 2018 (Tabell 4 og figur 8). Forskjellen mellom min og maks registrerte verdi var større i starten 2014 og 2015 (-200 mV) enn i slutten av måleperioden 2016 til 2018 (-10 mV).

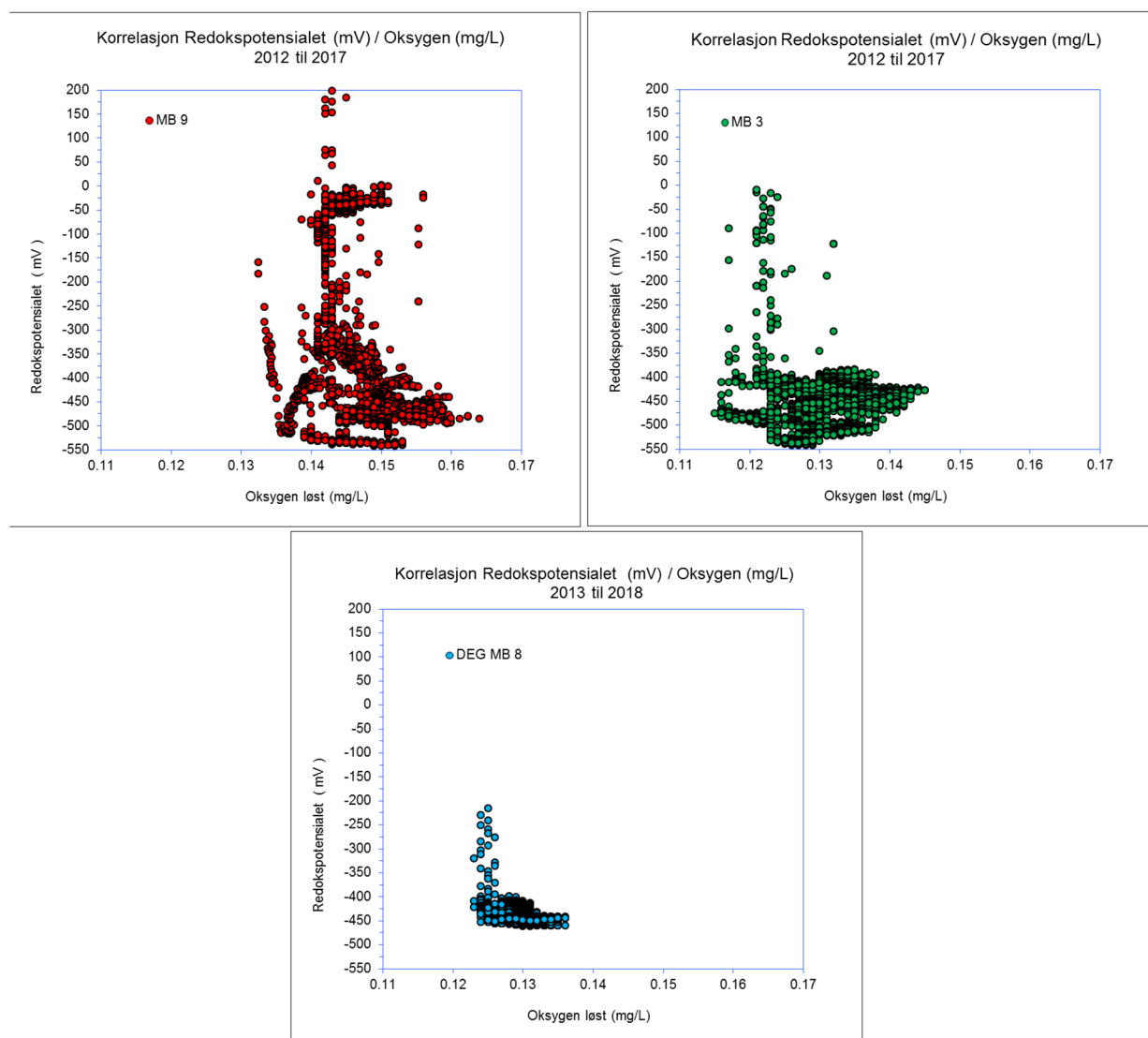


Figur 8. Overvåking av redoksforhold og oksygenkonsentrasjon i grunnvannet målt i miljøbrønnen MB8 og redoksforhold i MB4 fra des. 2013 ut 2018. Trøbbel med utstyret ga manglende data fra mai 2015 til sept. 2016. Resultatene er sammenstilt med mm nedbør per dag målt i samme periode (data fra www.yr.no).

I tillegg til redoks målinger er også oksygenkonsentrasjonen i grunnvannet blitt registrert med optisk sensor i miljøbrønn MB8. I sistnevnte brønn ble det målt helt stabile lave nesten ikke målbare oksygenkonsentrasjon i grunnvannet på 0,10 – 0,13 mgL⁻¹ i hele perioden (Figur 8 og Tabell 4). Dette viser et godt samsvar i at lavt redokspotensialet samtidig viser ikke målbart oksygen og anoksisk grunnvann. Ved å sammenligne grunnvannets redokspotensialet i MB4 og MB8 kan man konkludere med at oksygen ikke har trengt ned i grunnvannet og påvirket kulturlagene i dette området i overvåkingsperioden.

Erfaringer fra miljøbrønner i Anders Madsens gt. i Tønsberg og Kong Oscar gt. i Bergen med måling av redoksforhold og oksygenkonsentrasjon i grunnvann har vist at verdier lavere enn +200 mV gir målte oksygenverdier lavere enn 0,15 mgL⁻¹ (Bergersen, O. 2014) og (Bergersen, O. 2018 in prep). Først når redokspotensialet øker over +200mV ser man økning i målt oksygen innhold. Til sammenligning ligger vann i kontakt med luft på omkring 12 mg per L

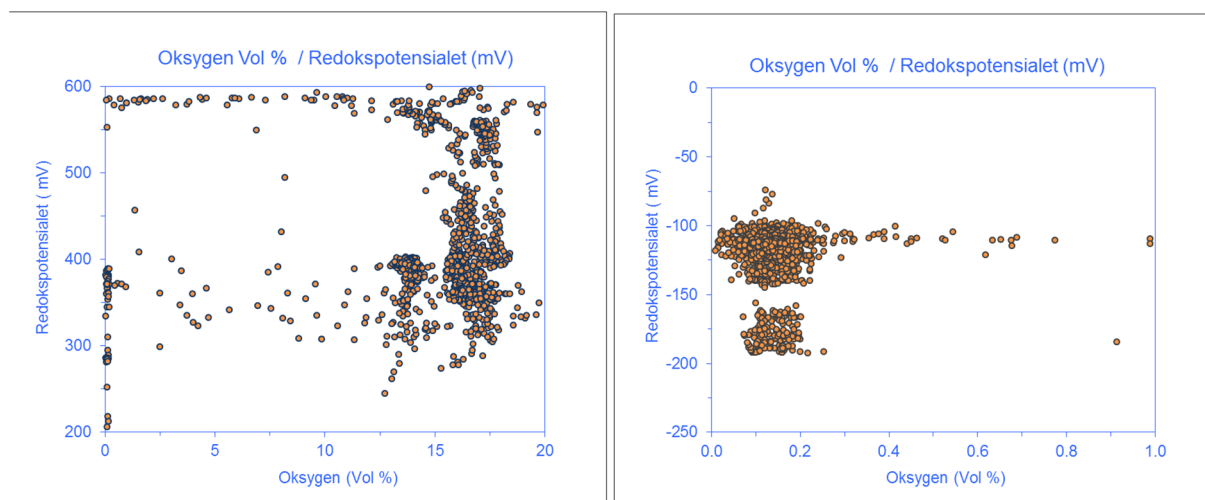
Figur 9 viser korrelasjons plott mellom redokspotensialet og oksygen konsentrasjoner målt i Kong Oscar gt. i Bergen (Bergersen, O. 2018 in prep) sammenstilt med data fra DEG MB8.



Figur 9. Eks på punktdiagram og korrelasjon mellom målt redokspotensial verdier og innhold av oksygen målt optisk i ulike grunnvanns brønner. Redokspotensialet på +200mV og nedover gir ikke høyere oksygen innhold enn 0,11-0,15 mg per L. (Bergersen, O. 2018 in prep). Under fra DEG MB8 hvor hovedtyngden av dataene lå på 0,12 mg per L oksygen i et stabilt reduserende grunnvann på -450 mV.

Overvåking av kulturlag i umettet sone mellom godt bevarte og dårlig bevarte kulturlag viser et annet bilde. Figur 10 viser at i tørrere dårligere bevarte kulturlag viser målinger med høyere redokspotensialet mellom +300 til +650 mV som igjen viser høyere innhold av oksygen på 12-18 volum %. Dette indikerer igjen at måles redoksverdier under +200 mV beskyttes kulturlagene bedre ved at lite oksygen er tilgjengelig. I tillegg lav temperatur omkring 10 grader vil også gi lav nedbrytingsrate for organisk materiale (Hollesen & Matthiesen, 2011, Petersén & Bergersen 2016).

Dette indikerer også at grunnvannets beskyttende effekt for å bevare kulturlagene fra overvåkingsområdet ved Dronning Eufemias gt. ikke er blitt påvirket av anleggsarbeidet. Grunnvannet bidrar fortsatt til gode bevaringsforhold, som også tidligere ble påvist i mer eller mindre i alle pelehull (Amundsen et al. 2012).



Figur 10. Eks på punktdiagram og korrelasjon mellom målt redokspotensial verdier og innhold av oksygen målt optisk i godt bevart og ikke godt bevart kulturlag i umettet sone. Redokspotensialet på -100mV og nedover viser at hovedtyngde av oksygenkonsentrasjonen registrert ligger mellom 0,05 til 0,2 Vol % i godt bevarte kulturlag (til venstre). I dårligere bevarte kulturlag med redokspotensialet fra +250mV og oppover ble det målt hovedtyngde på 12-18 Vol % oksygen (høyre side) (Bergersen, 2018, upubliserte data fra overvåking i umetta sone langs Follobanen).

4 Konklusjoner

I forbindelse med anleggsarbeider for anleggelse av nytt hovedgateløp i Bjørvika-byen, Oslo, ble det igangsatt et miljøovervåkingsprogram for å dokumentere bevaringstilstand og bevaringsforhold i kulturlagene i området. Fire miljøbrønner (MB3, MB4, MB5 og MB7) ble instrumentert med sensor for overvåking av grunnvannsnivå. Tre miljøbrønner (MB4, MB5 og MB7) er i tillegg til grunnvann instrumentert med multiparametersensorer for overvåking av temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensialet i grunnvannet. MB3, MB5 og MB7 ble avviklet tidligere enn planlagt pga. ferdigstillelse av vei og trikkestrase i løpet av 2014. I 2013 ble det i tillegg etablert en ny miljøbrønn DEG MB8 som målte oksygen i grunnvannet. Etter avtale med NIKU ble overvåking av MB4 forlenget, slik at data kunne bli vurdert sammen med MB8.

Denne sluttrapporten presenterer data fra alle miljøbrønnene i overvåkingsperioden 2010 til 2018 som gir grunnlag for å anta følgende:

- 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.
- Stabile forhold i grunnvannet med hensyn til nivå, temperatur og kjemi (saltinnhold, pH og lavt redokspotensialet) er positivt for bevaring av arkeologiske kulturlag.
- Ut fra data presentert i denne rapporten ser det ikke ut til at nytt høyhus vest for Nordenga bru og ferdigstillelse av veiforbindelsen på østsiden av Nordengen bru har forandret bevaringsegenskapene som grunnvannet har i dette området.
- 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.
- Korrelasjons plott hvor måling av redokspotensialet sammenstilles med målinger av løst oksygen i både luft porer eller grunnvann fra miljøbrønner viser at redokspotensialet lavere enn + 200mV gir minimale forskjeller i oksygenmålinger (mg per L eller Vol %). Økte kostnader, større strømforbruk

i loggere og utfordringer knyttet til bruk av optiske oksygensensorer i mettet sone, spesielt i umettet sone, kan reduseres ved og bare å måle redoks- potensialet på sikt.

Grunnvannets nivå, kjemiske sammensetning og temperatur har stor betydning for bevaring av kulturminner i jord. Ut fra overvåkingsdata presentert i denne rapporten (2010 – 2018) ser det ikke ut til at nytt høyhus vest for Nordenga bru og ferdigstilling av veiforbindelsen på østsiden av Nordengen bru har forandret bevaringsegenskapene som grunnvannet har i det undersøkte området i Dronning Eufemias gt. (DEG).

Litteraturreferanser

Amundsen, H.R., Bye Johansen, L.M., Amundsen, C.E., & 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 Nr 273/ Bioforsk rapport Nr 144. 2011.

Bergersen, O. 2012.

Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Statusrapport I 2011. Bioforsk rapport 7 (66) 2012.

Bergersen, O. 2014.

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

Bergersen, O. 2014a.

Geokjemiske kartlegging av kulturlag i boreprofiler og ny miljøbrønn DEG 8 etablert i Bispegaten, Bjørvika, Oslo. Forundersøkelse på bevaringsforhold i kulturlag fra grunnboring i forbindelse med utbygging av ny E18. Bioforsk rapport 9 (21) 2014.

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. 2015.

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. 2016.

Overvåking av grunnvann i miljøbrønner fra Dronning Eufemias gate (DEG), Bjørvika, Oslo. Status rapport IV. NIBIO rapport 2 (98) 2016.

Bergersen, O. 2018.

Miljøovervåking fra miljøbrønn i Kong Oscars gate, Bergen - Sluttrapport 2013 – 2017 18/01612 (in prep)

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

Petersen, A. H., Bergersen, O. 2015. The 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 NIBIO NIKU

Riksantikvaren & NIKU 2008. *The Monitoring Manual. Procedures and Guidelines for Monitoring, Recording, and Preservation Management of Urban Archaeological Deposits.*

Norsk Standard 9451:2010. Kulturminner. Krav til miljøovervåking og undersøkelse av kulturlag. Standard Norge 2010.

Yr: <https://www.yr.no/sted/Norge/Oslo/Oslo/Oslo>

Vedlegg

1. Bevaringsforholdene i til kulturlag fra forundersøkelsen av miljøbrønn MB3, 4, 7 & 8 med grunnvannsnivå før overvåking.
-

Vedlegg 1

Bevaringsforhold i kulturlagene i miljøbrønnene fra forundersøkelsen inkl. grunnvannsnivå. Data fra DEG MB5 ble ikke utført.

Miljøbrønn 3

Kote (MOH)	Prøver Lag	Bevaring *	
		Tilstand	Forhold
2.85			
1.35			
0.35	1-1	C4	Utmerket
-0.15	1-2	C4	Utmerket

Miljøbrønn 4

Kote (MOH)	Prøver Lag	Bevaring *	
		Tilstand	Forhold
2.45			
1.48			
0.75	1-1	C4	Utmerket
0.45	1-2	C4	Utmerket
0.15	1-3	C4	Bra

Miljøbrønn 7

Kote (MOH)	Prøver Lag	Bevaring *	
		Tilstand	Forhold
3.99			
1.51			
0.99			
0.39	1-3	C4	Utmerket
-0.21	2-1	C4	Bra

	Lavt organisk materiale 10%
	Middels organisk materiale 10-20%
	Høyt organisk materiale 20-30%
	Grunnvann nivå markert med blått
	Fluktasjon sone

Borehull prøve nr	Dyp (moh) tpkt. 3.69	Bevaring		
		Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks forhold *
Sand	3.09			
DEG 8 1-2m lag K3	2.49	Bra	Middels	A4
DEG 8 1-2 m lag K5	2.19	Utmerket	Bra	A5
	1.79			
DEG 8 2-3 m	1.39	Utmerket	Bra	C5
DEG 8 2-3	1.09	Utmerket	Bra	C5
DEG 8 3-4 m	0.59	Utmerket	Bra	C5
Leire	-0.31			

	Elendig til dårlig
	Middels
	Bra til utmerket
	Grunnvann

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

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.