

DEG42 OG DEG43 – MILJØOVERVÅKING

Overvåking av grunnvann fra miljøbrønner i arkeologiske kulturlag i Dronning Eufemias gate, Oslo. Sluttrapport.

Hovd, Line





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

Tittel DEG42 og DEG43 – Miljøovervåking Overvåking av grunnvann fra miljøbrønner i arkeologiske kulturlag i Dronning Eufemias gate, Oslo. Sluttrapport.	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 207	Publiseringsdato 14.04.2023
	Prosjektnummer 15620150/15621151	Sider 62
	Avdeling Arkeologi	Tilgjengelighet Åpen
Forfatter(e) Hovd, Line	ISSN 2703-7797 ISBN 978-82-8101-353-7	Oppdragstidspunkt / periode utført 2010–2018
	Forsidebilde T.v.: Boring ved DEG42. Foto: niku_ark_nr_308828. T.h.: Boring ved DEG43. Foto: Cf54088_NIKU_07.	

Prosjektleder Hilde Rigmor Amundsen, Lise-Marie Bye Johansen, Monica Kristiansen
Prosjektmedarbeider(e)
Kvalitetssikrer Lise-Marie Bye Johansen, Monica Kristiansen

Oppdragsgiver / finansiert av Statens Vegvesen

Sammendrag Rapporten presenterer resultater fra overvåking av grunnvannet i arkeologiske kulturlag i Dronning Eufemias gate målt i perioden 2010–2018. Bakgrunnen for prosjektet var anleggelse av nytt hovedgateløp, med tiltaksområdene DEG42 og DEG43. Rapporten omhandler disse to ulike delprosjekter: Overvåkingsstatus fra DEG42 med brønnene MB3, MB4, MB5 og MB7, Dronning Eufemias gate seksjon 42; overvåkingsstatus fra DEG43 med brønnen MB8, Dronning Eufemias gate seksjon 43. Tiltakshaver, Statens Vegvesen, ønsket å anlegge nytt gatedekke som en betongplate, fundamentert på stålkjernepeler. Boringene for stålkjernepelene ble overvåket og dokumentert av arkeologer. NIBIO (tidligere Bioforsk) installerte miljøbrønner i borepunktene MB3, MB4, MB5, MB7 og MB8, for overvåking av grunnvannstand og jordbunnskjemi. En sammenfattende vurdering av den arkeologiske bevaringstilstanden for kulturlag var generelt god i samtlige boresøyler for pelehull tilknyttet DEG42 og god til utmerket for DEG43 (4 – god; 5 – utmerket). Resultatene fra grunnvannsovervåkingen i miljøbrønnene DEG42 og DEG43, viste en stabil grunnvannstand for de fire brønnene. Temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold har også vist relativt stabile forhold. Dette indikerer gode bevaringsforhold for organisk materiale i mettet sone.
Abstract This report presents results from environmental monitoring in archaeological cultural layers in Dronning Eufemias gate, measured in the period 2010–2018. The monitoring project was part of the construction and foundation work for the new main street, in the section areas DEG42 and DEG43. The report includes two sub-projects: Monitoring status from DEG42 with dipwells MB3, MB4, MB5 and MB7, Dronning Eufemias gate section 42; monitoring status from DEG43 with the dipwell MB8, Dronning Eufemias gate section 43. The developer, Statens Vegvesen, wanted to construct the new road surface as a concrete slab, founded on steel core piles. The extracted soil from the auguring was documented and assessed by archaeologists. NIBIO (formerly Bioforsk) installed monitoring equipment in the dipwells for environmental monitoring of groundwater levels and soil chemistry. A summary of the archaeological state of preservation of the cultural layers was assessed to be in good to excellent state. The results from the environmental monitoring in sections DEG42 and DEG43 showed stable groundwater level for all dipwells. Temperature, pH, conductivity and redox also showed relatively stable measurements. This indicates good preservation conditions for organic material in the saturated zone.

Emneord Miljøovervåking; miljøbrønn; profil; kulturlag; geokjemi; mikrobiologi; arkeologi; Barcode; Dronning Eufemias gate
Keywords Environmental monitoring; dipwell; section; archaeological deposits; geochemistry; microbiology; archaeology; Barcode; Dronning Eufemias gate

Avdelingsleder
 Lise-Marie Bye Johansen

Saksnummer hos forvaltningsmyndighet	09/02875-14, 10/02497-90
Kulturminne-ID	88460
Lokalitetsnavn	Oslo middelalderby
Gnr/bnr.	-
Adresse, kommune, fylke	Dronning Eufemias gate/Bispegata, Oslo
Aksesjonsnummer	-
Museumsnummer	-
Intrasis-prosjektnummer	-
Foto-/filmnummer	Cf54088
Tilstedeværelse av automatisk fredede kulturminner	Ja

Forord

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

Miljøovervåking:

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

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

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

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

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

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	9
1.1	Bakgrunn DEG 42 og DEG43.....	9
1.1.1	DEG42 2010–2014.....	9
1.1.2	DEG43 2013–2018.....	10
1.2	Mål for overvåkingen	10
2	Materiale og metode.....	11
2.1	Naturvitenskapelige definisjoner.....	11
2.2	Måleparametere.....	12
2.3	Etablering av miljøbrønner	14
2.3.1	DEG42 – MB3.....	14
2.3.2	DEG42 – MB4.....	14
2.3.3	DEG42 – MB5.....	14
2.3.4	DEG42 – MB7.....	14
2.3.5	DEG43 – MB8.....	14
2.4	Installering av multisensorer og loggere i miljøbrønner.....	15
2.5	Overvåkingsutstyr	15
2.6	Avvik og utfordringer i måleperioden 2010–2018.....	15
3	Resultater og diskusjon	16
3.1	Overvåking av miljøbrønner MB3, MB4, MB5 og MB7 fra 2010–2014	16
3.1.1	Grunnvannsdata MB3, MB4, MB5 og MB7	16
3.1.2	Temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensiale MB4, MB5 og MB7	17
3.2	Overvåking av miljøbrønner MB4 og MB8 fra 2013–2018	20
3.2.1	Grunnvannsnivå MB4 og MB8.....	20
3.2.2	Temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensiale MB4 og MB8	21
4	Konklusjon	25
5	Litteraturliste	27
6	Vedlegg.....	28
	Vedlegg 1.....	29
	Vedlegg 2.....	30
	Vedlegg 3.....	31
	Vedlegg 4.....	33

1 Innledning

De arkeologiske undersøkelsene i forbindelse med etablering av Dronning Eufemias gate i krysset mot Bispegata i Oslo, har sin bakgrunn i anleggelse av nytt hovedgateløp i området. Dronning Eufemias gate, med tiltaksområdene seksjon 42 og seksjon 43 (DEG42 og DEG43), lå innenfor avgrensningen til «Middelalderbyen Oslo» (ID 88460), som er automatisk fredet etter Lov om kulturminner av 9. juni 1978. Middelalderbyen er et sammenhengende fornminne som strekker seg fra Loenga i sør til Grønland i nord, og omfatter Bispevika, Middelalderparken, Klosterenga og øvrige deler av det gamle Oslo. Tiltaksområdet ligger i vestre del av middelalderbyen, innenfor nordre del av det middelalderske havneområdet.

I forbindelse med anleggsarbeidet tilknyttet det nye gateløpet, nybygg og infrastruktur, ble det i 2010 igangsatt et miljøovervåkingsprogram for langtidsovervåking av kulturlag i de aktuelle delområdene. I denne rapporten gis en oppsummering av resultater fra overvåkingsdata i perioden 2010–2018. Grunnvannsnivå og temperatur sammen med data fra multiparametersensorene for måling av redokspotensiale, pH og ledningsevne gir bedre forståelse for grunnvannets egenskaper i å bevare kulturminnene i området. Overvåkingsutstyret erstattet tidligere vannprøvetaking og vannanalyser for å få bedre kontinuitet i informasjon om grunnvannets påvirkning av bevaringsforholdene til kulturlagene over tid. Brønnene er plassert i mettet grunnvannssone.

Denne sluttrapport omhandler data fra flere miljøbrønner i Dronning Eufemias gate, hvor utbyggingen ble utført etappevis. Rapporten omhandler to ulike delprosjekter:

1. Overvåkingsstatus fra DEG42 og brønnene MB3, MB4, MB5 og MB7, som overvåker grunnvannet under arbeidet med nytt gateløp i Dronning Eufemias gate seksjon 42.
2. Overvåkingsstatus fra DEG43 og brønnen MB8, som overvåker grunnvannet under arbeidet med nytt gateløp i Dronning Eufemias gate seksjon 43.

Prosjektleder for DEG42-prosjektet ved NIKU var arkeolog Lise-Marie Bye Johansen, mens arkeolog/forsker Hilde Rigmor Amundsen har hatt ansvar for miljøovervåkingsdelen av prosjektet. Ved DEG43 var Monica Kristiansen prosjektleder, både for hovedutgravningen og for etableringen av miljøbrønnen tilknyttet tiltaket. Line Hovd utførte installasjonsrapporteringen ved DEG43, og sluttrapporteringen for de to miljøovervåkingsprogrammene i innværende rapport.

1.1 Bakgrunn DEG 42 og DEG43

1.1.1 DEG42 2010–2014

Ved Dronning Eufemias gate seksjon 42 (heretter DEG42, se Figur 1) ble det fundamentert en betongplate som ligger i hele gatens utstrekning. Underkanten på platen lå på kote +1,3 til +1,5. Grunnen i området bestod av leire og lag av flis og annet organisk materiale. For å unngå setninger og sikre et stabilt fundament for gaten, ble betongplaten fundamentert på fast fjell med til sammen ca. 80 stålkjernepeler, hvor hver pele hadde en ytre diameter på ca. 22 cm. (medregnet foringsrør).

Det ble i henhold til oppdragsbestillingen fra Riksantikvaren utformet en samlet prosjektbeskrivelse, hvor det ble foretatt en inndeling i tre delprosjekter: 1) miljøbrønner inkl. langsiktig miljøovervåkingsprogram, 2) tilstandsvurdering og dokumentasjon av kulturlag i pelehull og 3) vurdering av bevaringstilstand og –forhold til kulturminner/-lag i arkeologisk undersøkt utgravningsgrøft (jfr. hovedprosjektet). Hovedprosjektet ved DEG42, en arkeologisk utgravning, foregikk parallelt med boreundersøkelsene (Engen & Johansen 2011). Denne sluttrapporten omhandler delprosjekt 1).

Riksantikvaren gav dispensasjon for tiltakene med vilkår om at det skulle etableres et miljøovervåkingsprogram. Miljøbrønner skulle plasseres innenfor område til DEG42, med god spredning/dekning, men utenfor selve utgravningsområdet til hovedprosjektet. Høsten og vinteren

2010 ble det gjennomført boreundersøkelser med dokumentasjon av bevaringstilstand (arkeologisk undersøkelse, NIKU,) og bevaringsforhold (jordkjemisk undersøkelse, Bioforsk (heretter NIBIO)) i kulturlag i området (Amundsen et al. 2011). Det ble etablert fire miljøbrønner innenfor tiltaksområdet, MB3, MB4, MB5 og MB7, for prøvetaking av grunnvann og automatisk logging av grunnvannsnivå og -forhold. NIBIO hadde ansvaret for installering av overvåkingsutstyr og prøvetaking av grunnvann. Overvåking var planlagt fra 2010 t.o.m. 2014. Måleperioden for miljøbrønn MB4 ble senere utvidet til ut 2018.

1.1.2 DEG43 2013–2018

Dronning Eufemias gate seksjon 43 (heretter DEG43, se Figur 1) skulle bygges som en betongplate fundamentert på ca. 20 stålkjernepeler. Betongplaten ville bli ca. 0,5 m tykk, og skulle dekke hele tiltaksområdet på ca. 15,5 x 36 m.

Det ble i henhold til oppdragsbestillingen fra Riksantikvaren utformet tre prosjekter med separate prosjektbeskrivelser: 1) DEG seksjon 43 (utgraving), 2) Bispegata vestre del + vannkummer, 3) Miljøovervåking (prosjekt id:15621151). Hovedprosjektet ved DEG43, en arkeologisk utgravning, foregikk parallelt med boreundersøkelsen (Engen et al. 2020). Denne sluttrapporten omhandler delprosjekt 3).

Riksantikvaren gav dispensasjon for tiltakene med vilkår om at det skulle etableres et miljøovervåkingsprogram. En miljøbrønn skulle plasseres innenfor område til DEG43, men utenfor og nord for området som ble berørt av selve utgravningsområdet for tiltaket (del 1). Sommeren 2013 ble det gjennomført en boreundersøkelse med dokumentasjon av bevaringstilstand (arkeologisk undersøkelse, NIKU) og bevaringsforhold (jordkjemisk undersøkelse, NIBIO) i kulturlag i området (Hovd 2023). En miljøbrønn ble etablert i borehullet (borehull 1), MB8, for prøvetaking av grunnvann og automatisk logging av grunnvannsnivå og -forhold. NIBIO hadde ansvaret for installering av overvåkingsutstyr og prøvetaking av grunnvann. Selve overvåkingsutstyret ble installert desember 2013, og overvåking var planlagt fra 2013 t.o.m. 2018.

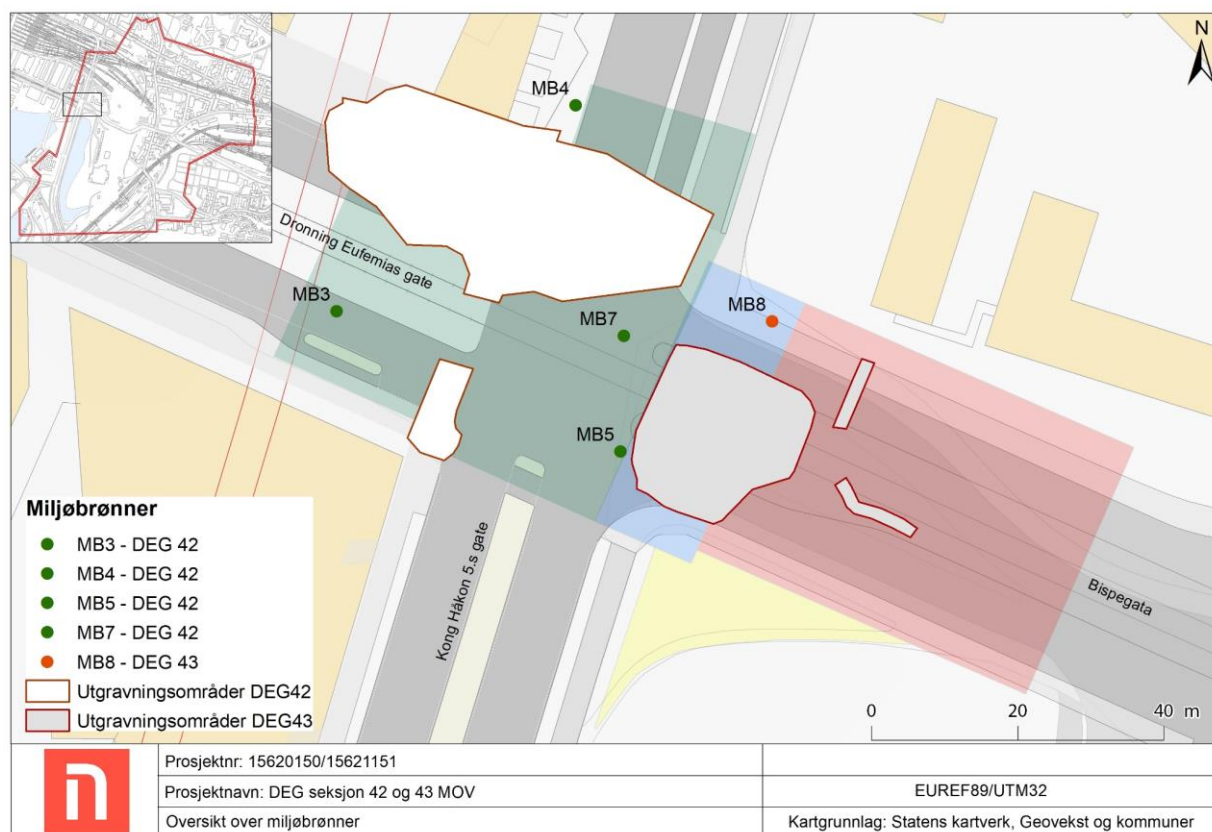
1.2 Mål for overvåkingen

En etablering av en betongplate for det nye gateløpet i Dronning Eufemias gate ville i praksis innebære en forsegling av grunnen i de to tiltaksområdene. Det ville etter etablering ikke slippes til regnvann og oksygen fra overflaten. Miljøovervåkingen hadde dermed som mål i løpet av måleperioden å kartlegge kulturlagenes bevaringstilstand og -forhold under betongplaten forut for anleggsperioden, underveis i denne, samt i etterkant, for å se på hvilke konsekvenser utbyggingen ville få for kulturlagene over tid. NIKU skisserte et mulig trusselbilde for kulturlagene for tiltaksområdene i DEG42 og DEG43:

- *Mekanisk påvirkning.* Graving ned i kulturlag forårsaker skade, ikke bare på de deler av lagene som blir direkte berørt, men også indirekte gjennom den påvirkning som gravingen selv har. Mekanisk skade i form av deplassering kan være like ødeleggende for den arkeologiske konteksten.
- *Tilførsel av oksygen.* Tilførsel av oksygen starter nedbrytningsprosesser, som dels går ut over innholdet i laget i form av gjenstander, organiske som uorganiske – dels nedbryter kulturlaget, med alle dets mange varierte bestanddeler. Det er derfor viktig at nedgravninger og borehull gjenfylles med tett masse, helst leire.
- *Temperaturrendringer.* Økte temperaturer kan ha samme effekt som tilførsel av oksygen. I noen tilfeller kan tildekking dog ha en positiv effekt ved at temperatursvingninger mellom veldig kaldt og veldig varmt kan unngås.

- *Uttøring.* Hvis kulturlagene utsettes for drenering av vann og/eller temperaturøkninger kan dette lede 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 og konstruksjoner som står på eller nær lagene.

For perioden 2013–2018 ville miljøbrønnene MB4 ved DEG42 og MB8 være plassert motsatt overfor hverandre ved den nye Nordengen bru. På den ene side er det bygget høyhus, mens det på den andre siden har vært minimalt med byggeaktivitet. En sammenstilling av resultater fra disse to brønnene vil være av faglig interesse.



Figur 1: Kart over DEG42 (merket i grønt) og DEG43 (merket i rødt og blått), med tilhørende miljøbrønner. Prosjektets hovedutgravninger er også merket på kartet. Kart: NIKU.

2 Materiale og metode

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. Skala som angir bevaringstilstand fra 0–5 anvendes, og dens definisjon er beskrevet i Tabell 1.

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, spesielt i umettet sone. Slike reaksjoner bidrar til nedbryting og korrosjon av ulike materialer.

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.

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.

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 Måleparametere

Stabilt eller fluktuerende grunnvann

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

pH og ledningsevne i grunnvannet som omgir kulturlagene

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

Temperatur som omgir kulturlagene

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

Jordfuktighet

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

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

Miljøbrønn	X	Y	Z	Grunnvannsnivå v/inst. (moh.)	Grunnvannsnivå (moh.) median 2010– 2013	Grunnvannsnivå (moh.) median 2014	Grunnvannsnivå (moh.) median 2018	Måleperiode
MB3 DEG42	6642351.78	598519.471	2.849	1,35	0,61			2010–2012
MB4 DEG42	6642379.949	598552.175	2.445	1,48	0,56	1,87	1,73	2010–2018
MB5 DEG42	6642332.598	598558.334	3.125	-	0,64			2010–2014
MB7 DEG42	6642348.049	598576.086	3.990	1,51	0,71			2010–2014
MB8 DEG43	6642350.378	598579.083	3.691	1,79	-	2,01	1,58	2013–2018

Tabell 2: Koordinater (EUREF89/UTM32) for de ulike miljøbrønner og grunnvannsnivå registrert i grunnvannsrør etter installering, perioden 2010–2018.

2.3 Etablering av miljøbrønner

Grunnvannsbrønnene ble installert i forbindelse med de arkeologiske undersøkelsene ved anleggelsen av den nye Dronning Eufemias gate (Engen et al. 2020; Engen & Johansen 2011). Installasjonsrapporter og de første målinger av grunnvann og miljøovervåking er beskrevet i egne rapporter (Amundsen et al. 2011; Hovd 2023). Oversikt over plassering av brønnene er vist i Figur 1 og Tabell 2.

2.3.1 DEG42 – MB3

Miljøbrønn MB3 ble plassert i den sørvestre delen av DEG42, i den østgående veibanen til Dronning Eufemias gate. Området var et anleggsområde, og asfalt var fjernet i hele området før oppstart av arbeidet med boringen for brønnen. Brønnen ble etter etablering markert over bakken med et jernsylinderrør med lokk. Massene under asfalten bestod av stor stein, pukk og grov grus. Brønnen var totalt 4,3 m dyp, og filterrør stod i kontakt med kulturlagene på omtrent 2,3–3,3 m dybde. Denne brønnen målte kun grunnvannsnivå.

2.3.2 DEG42 – MB4

Miljøbrønn MB4 ble plassert i den nordre delen av DEG42, like vest for den nye Nordenga bru. Området var ved etablering et anleggsområde, og asfalt var fjernet i hele området før oppstart av arbeidet med boringen for brønnen ble igangsatt. Brønnen ble etter etablering markert over bakken med et jernsylinderrør med lokk. Massene under asfalten bestod av stein, pukk og grov grus i øvre del og svart smågrus med kreosotlukkt i nedre del. Brønnen var totalt 3,5 m dyp, og filterrør stod i kontakt med kulturlagene på omtrent 1,5–2,1 m dybde.

2.3.3 DEG42 – MB5

Miljøbrønn MB5 ble plassert i den sørøstre delen av DEG42, i den østgående veibanen til Dronning Eufemias gate, der gaten krysses med Kong Håkon 5.s gate sin nordgående veibane. Området var et aktivt anleggsområde, og brønnen ble grunnet tekniske og praktiske forhold montert uten at det først ble utført skovelboring med arkeologisk tolkning og dokumentasjon av lag. Det ble følgelig heller ikke tatt jordprøver. For å bøte på dette ble det tatt ut jordprøver for analyse av de nærliggende pelehullene (se rapport Amundsen et al. 2011, avsnitt 3.2.1, for beskrivelse). MB5 ble etter ferdig etablering tildekket med et kumlukk i bakkeplan.

2.3.4 DEG42 – MB7

Miljøbrønn MB7 ble plassert i den østre delen av DEG42, nord for MB5, i den østgående veibanen til Dronning Eufemias gate, der gaten krysses med Kong Håkon 5.s gate sin nordgående veibane. Området var ved etablering et anleggsområde, og før oppstart av arbeidet med boringen for brønnen var ca. 1,8 meter moderne masser fjernet med gravemaskin, og boringen startet fra dette nivået. Brønnen ble etter etablering tildekket med et kumlukk i bakkeplan. Massene under asfalten bestod av stein, pukk og asfaltrester (eldre Bispegata) i øvre del og stor grus iblandet en leireholdig masse i den nedre del. Brønnen var totalt 3 m dyp (totalt undersøkt 4,8 m), og filterrør stod i kontakt med kulturlagene på omtrent 1,6–2 m dybde fra topp borepunkt.

2.3.5 DEG43 – MB8

Miljøbrønn MB8 ble plassert i den nordvestre delen av DEG43, like øst for den nye Nordenga bru. Området var ved etablering et anleggsområde, og asfalt var fjernet i hele området før oppstart av arbeidet med boringen for brønnen ble igangsatt. Brønnen ble etter etablering tildekket med et kumlukk i bakkeplan på fortau. Massene under asfalten bestod av grå og gul sand med innslag av småstein. Brønnen var totalt 5 m dyp, og filterrør stod i kontakt med kulturlagene på omtrent 2–3 m dybde fra topp borepunkt.

2.4 Installering av multisensorer og loggere i miljøbrønner

2.5 Overvåkingsutstyr

Overvåkingsutstyret anvendt i miljøbrønnene ble levert av NIBIO. Loggeren, en SEBA Datalogger type Slimcom -2 GSM med multisensorer type MPS-D8 som registrerer vannstand, temperatur, pH, redoksforhold og konduktivitet (el. ledningsevne) ble installert i miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 fra mars 2011. I miljøbrønn MB3 var det en SEBA Datalogger type Log-com med sensorer type MPS-D3 som kun registrerer grunnvann. Dataen kunne hentes manuelt, eller trådløst via modem og mobiltelefoni.

SEBA Datalogger type Slimcom -2 GSM med multiparametersensorer type MPS-D8 var også installert i miljøbrønn MB8, men sensoren anvendt hadde i tillegg optisk oksygensensor i nedre måleområde $0,1 \text{ mgL}^{-1}$ til full metning. Overvåkingen i denne brønnen startet desember 2013.

2.6 Avvik og utfordringer i måleperioden 2010–2018

Det har vært noen praktiske og tekniske utfordringer i løpet av måleperioden. Utstyret ble gjennom måleperioden plassert under bakken og kommunikasjon via modem har hatt variabel funksjon. Flere kalde vintre og mye is har gjort innhenting av data utfordrende. Nesten all info er hentet manuelt fra loggerne og det har derfor gitt en del utfordringer spesielt vinterstid. Et annet problem var ferdselsrestriksjoner og tilgjengelighet.

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 avvirket underveis i overvåkingsperioden. Hull i dataseriene har oppstått på grunn av skader på utstyr som følge av fuktighet, frostskafer og kondens i miljøbrønnene og kummer. De lengste dataserier er fra DEG42 MB4 og DEG43 MB8.

Miljøbrønn MB3 måtte rigges ned pga. etablering av anleggsvei. Dermed foreligger det kun resultater fra 2010 og ut juni 2012 for denne brønnen.

I MB5 og MB7 var utstyret skadet i store deler av 2012. Det ble konkludert med at grunnvannet hadde presset seg opp på utsiden av miljøbrønnene, og det ble derfor hull i dataseriene. Etter hvert som veitraseer trådte fram og ble tatt i bruk, ble MB5 og MB7 vanskelig å overvåke videre. Overvåkingen i MB5 og MB7 ble derfor avsluttet mars 2014.

I miljøbrønn MB4 var utstyret ute av drift våren 2012, men det foreligger resultater fra resten av året. Imidlertid mangler resultater på redoksforholdene i 2013. Dette skyldes at ødelagt utstyr på grunn av frost fra 2012 ble skiftet med ekstra overvåkingsutstyr NIBIO hadde tilgjengelig. Utstyret ble tatt inn i en omleggingsperiode (starten av 2014), men ble satt i drift igjen da brønnen ble klargjort for videre overvåking. I perioden 2013–2014 var det fremdeles problemer med å komme til MB4 på grunn av anleggsvirksomheten. Miljøbrønnene MB4 deretter ble videre undersøkt i juni 2015, og det ble skiftet batteri.

Miljøbrønn MB8 ble etablert i 2013, og i 2014 ble sikring av brønnen utført ved ferdigstilling av veitraseen. Brønnen ble da bygget opp vil være tilgjengelig på fortausnivå til den nye veibanen. MB8 ble videre undersøkt i juni 2015, og det ble skiftet batteri. I april 2016 sluttet MB8 å kommunisere. Dataloggeren ble tatt inn for undersøkelse i håp om å kunne hente ut data. Ingen data kunne imidlertid hentes ut, da det ikke var mulig å få kontakt med loggeren. Årsaken kan ha vært fuktskade på elektroniske komponenter. Det ble satt ut en ny logger i løpet av 2016 som fortsatte målingene ut den resterende måleperioden.

Våre erfaringer viser at det er viktig med en plassering som gir god tilgjengelighet og ikke kommer i konflikt med annen arealbruk, noe som er utfordrende i kompliserte utbyggingsprosjekter. Utstyr for miljøovervåking er under stadig utvikling og modem og kommunikasjon har fått bedre rekkevidde. Vi

vil likevel peke på viktigheten av at miljøovervåking i grunnvannsbrønner må være tilgjengelig både fysisk og trådløst i fremtiden slik at data kan overføres og vi har kontroll på utstyret, som også trenger regelmessig kalibrering og vedlikehold.

Det kan forventes bedre dataflyt i kommende år, men spesielle vær fenomener og skader på utstyr hvor det foregår tung anleggsvirksomhet i umiddelbar nærhet vil gi brudd i dataserier. Med on-line overvåking og regelmessig kvalitetskontroll av data vil en kunne minimalisere periodene uten data.

Tross påpekte avvik med brudd i dataserier vil vi hevde det foreligger et godt datagrunnlag for å gi vurderinger og konklusjoner i forhold til prosjektets målsetting omtalt i kapittel 1.2.

3 Resultater og diskusjon

Deler av resultatene i dette kapittelet, med underkapittel 3.1 og 3.2, er hentet fra NIBIOs sluttrapport (NIBIO 6/96/2020) for miljøovervåkingen oppsummert fra 2010 til 2018, hvor det ble gitt en gjennomgang av grunnvannsdata, temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold i de ulike brønnene (Bergersen 2020). Resultatene fra DEG42 og DEG43 er rapportert sammen. Rapporten er vedlagt (se Vedlegg 4). Disse resultatene er i dette kapittelet sammenstilt med en tilstandsvurdering.

3.1 Overvåking av miljøbrønner MB3, MB4, MB5 og MB7 fra 2010–2014

Forundersøkelsen, som inkluderte jordprøver fra miljøbrønn MB3, MB4 og MB7 (se Figur 1), ble utført i 2010 (Amundsen et al. 2011). MB3 hadde utmerkede bevaringsforhold fra sjikt 0,3 til -0,15 moh., MB4 hadde utmerkede bevaringsforhold i sjiktene 0,75 og 0,45 moh. og god ved sjikt på 0,15 moh., mens MB7 hadde utmerkede bevaringsforhold i sjikt på 0,15 moh. og god ved sjikt -0,15 moh. Tilstanden ble gjennomgående vurdert som 4 – god (se Tabell 1). Ved miljøbrønn MB5 ble det som nevnt tidligere på grunn av ulike forhold ikke dokumentert eller tatt prøver til jordkjemisk analyse.

Resultatene fra overvåking av grunnvannstand, temperatur, pH, redoks og ledningsevne i miljøbrønnene er vist som gjennomsnitt, median-, maks- og minimumsverdier, som viser hvordan parameterne utvikler seg over tid.

Miljøovervåkingen ved utgangen av 2013 har vist at grunnvannet ved MB3, MB4, MB5 og MB7 har fluktuert noe med nedbør gjennom årstidene, men har vært relativt stabilt. Stabile forhold med lite fluktusjon av grunnvannsspeilet vil ha vært beskyttende for kulturlagene i mettet sone i området rundt miljøbrønnene. De øvre kulturlagene hadde derimot bevaringstilstand og -forhold vurdert fra middels til god for uorganisk materiale, noe som vil beskytte for eksempel metallgjenstander mot nedbrytning. Oversikt over bevaringsforholdene for organisk materiale fra de ulike miljøbrønnene er vist i Vedlegg 2.

3.1.1 Grunnvannsdata MB3, MB4, MB5 og MB7

Tabell 3 viser resultater fra overvåking av grunnvannsnivå, målt i miljøbrønnene MB3, MB4, MB5 og MB7 i perioden 2010–2014, som min-, maks, median- og gjennomsnittsverdier (Bergersen 2020). Figur 2 viser grafisk fremstilling av grunnvannsnivå målt i de fire miljøbrønnene, sammenstilt med nedbørsdata fra området.

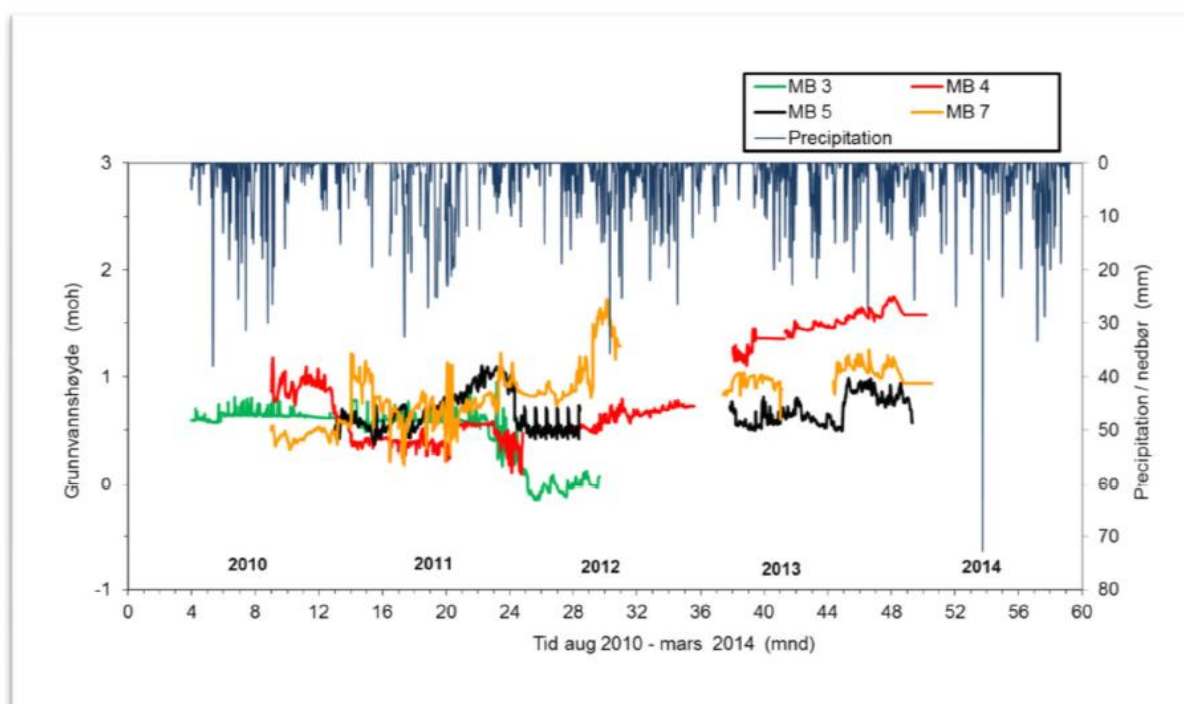
Resultatene fra overvåkingen viser relativt stabil grunnvannstand for de fire brønnene. Grunnvannstanden har variert med årstidene og nedbørsmengden, med lavere vannstand i tørre perioder i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret. Likevel viste beregningene at min-, median- og gjennomsnitt hadde like grunnvannnivåer brønnene seg imellom (se Tabell 3). Det ble påvist forskjeller i maksimumsverdiene mellom brønn MB5 og MB3 (1,0 moh.), samt mellom MB4 og MB7 (1,7 moh.). Lavest grunnvannsnivå ble målt til 0,1–0,4 moh., hvor lavest verdi (-0,2 moh.) ble målt i MB3 våren 2012. Variasjonene i disse målingene kan relateres til nedbørsmengdene som sees i flere av brønnene. Grunnvannet synker som nevnt noe i tørrere perioder i vinterhalvåret. Når det gjelder MB3,

som er brønnen nærmest sjøsiden, (se Figur 1), var det ukjent om det var installert grunnvannspumper i det området pga. byggeaktivitet.

Det kan likevel påpekes at median- og gjennomsnittsverdiene som ble beregnet av grunnvannsnivået lå på 0,6–0,7 moh. i alle miljøbrønner, noe som viste at grunnvannet ikke har forandret seg mye i måleperioden 2010–2013 (se Tabell 3). Kulturlag som ligger på grunnvannsnivå, mellom 0,1 og 1,7 moh., står i liten grad i fare for å tørke ut og brytes ned. Lagene i umettet sone er derimot mer utsatt. Vedlegg 2 illustrerer at de best bevarte kulturlagene som ble påvist i brønnene under forundersøkelsen lå i grunnvannsmettet sone.

Grunnvann	MB3	MB4	MB5	MB7
2010-2013	moh	moh	moh	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

Tabell 3: Min-, maks-, median- og gjennomsnittsverdier av grunnvann i moh., målt i miljøbrønnene MB3, MB4, MB5 og MB7 i perioden 2010 og ut 2013 (Bergersen 2020).



Figur 2: Grunnvannshøyde målt moh. i miljøbrønnene MB3, MB4, MB5 og MB7 fra 2010 og ut 2013 sammenstilt med mm nedbør per dag, data fra www.vr.no (Bergersen 2020).

3.1.2 Temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensiale MB4, MB5 og MB7

Multiparameter sensorer ble satt inn i miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 i 2011. Tabell 4 viser resultater fra overvåking av temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensiale, målt i måleperioden med multiparametersensor fra mars 2011 til mars 2014, beregnet og vist som min-, maks-, median- og

gjennomsnittsverdier. Figur 3 viser grafisk framstilling av de samme parameterne gjennom måleperioden.

Temperaturen i miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 svingte noe med utetemperaturene gjennom sesongene, men variasjonene var små i måleperioden 2011–2014 (se Tabell 4). Forskjell mellom høyeste og laveste grunnvannstemperatur var på 5–11 °C. I MB7 ble det derimot beregnet en noe høyere grunnvannstemperatur, på 5–13.4 °C. Median- og gjennomsnittsverdiene som ble beregnet lå alle likevel under 10 °C.

Resultater fra multiparametersensorene viser at **pH** i alle de tre brønnene var stabile på omkring 7,0–7,2, målt som median- og gjennomsnittsverdier i overvåkingsperioden (se Tabell 4). Størst variasjon i pH ble målt i MB5, der pH-verdien var lav (pH 6) i deler av 2011, men stabiliserte seg igjen og økt mot 7,8 i resten av overvåkingsperioden. I MB4 og MB7 sank pH-verdiene noe mot slutten av overvåkingsperioden, men ikke i betydelige mengder.

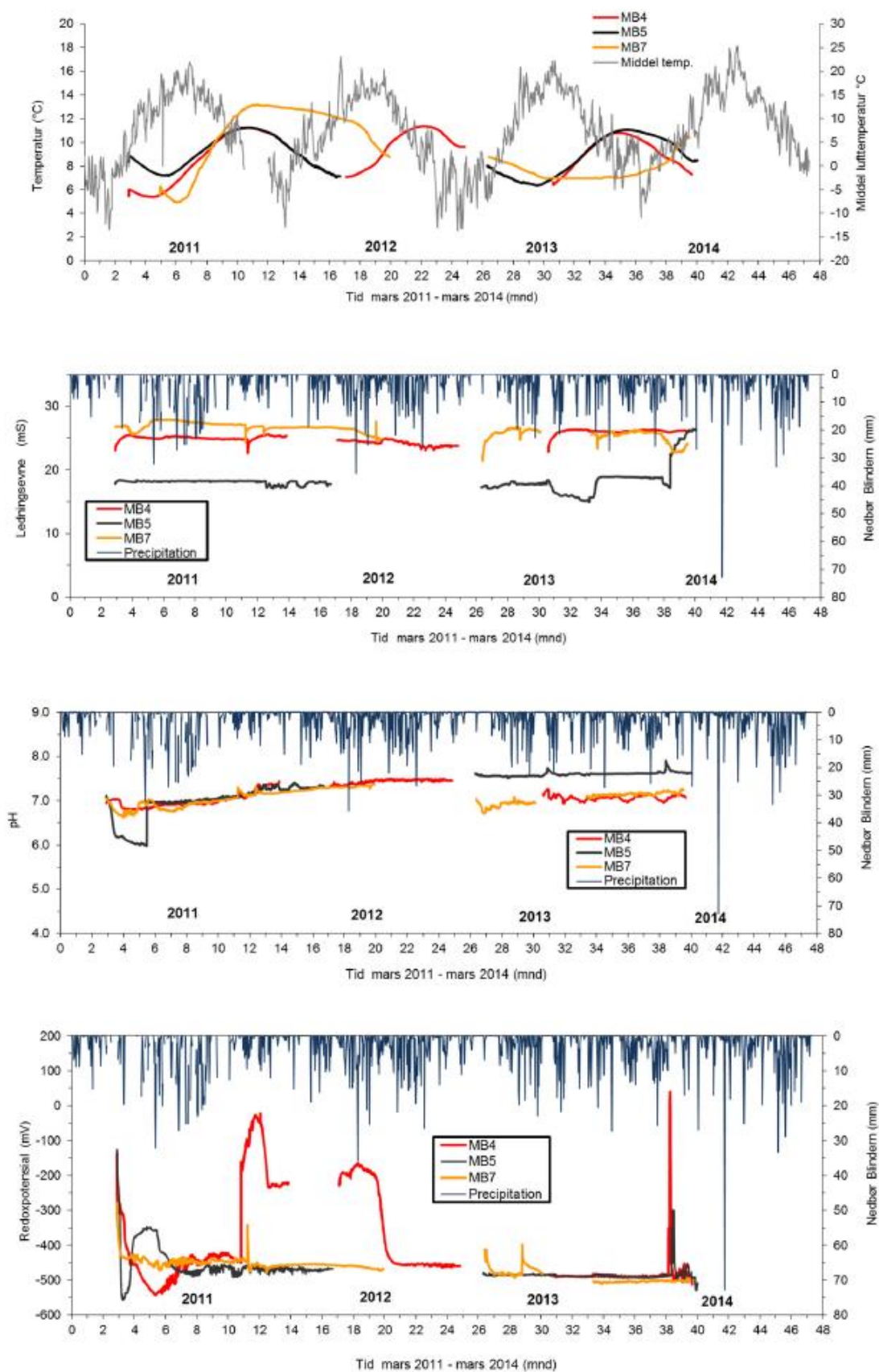
Ledningsevne varierer i liten grad mellom de tre brønnene, men MB5 pekte seg ut med noe lavere verdier på 17–18 mScm⁻¹. For hver brønn er det imidlertid stabile målinger som i liten grad ser ut til å påvirkes av nedbør. Alle brønnene viste at grunnvannet er sjøvannspåvirket, med beregnet median- og gjennomsnittsverdier i ledningsevne på 25–27 mScm⁻¹ i MB4, MB7 og noe lavere i MB5 på 18,2 mScm⁻¹.

For de tre miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 ble det påvist 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 en mindre senkning av grunnvannsnivået i samme periode (se Figur 3). Redokspotensialet i MB4 stabiliserte seg på ca. -420 mV i løpet av perioden 2012 til mars 2014, samme nivå som i brønnene MB5 (-460mV) og MB7 (-450mV). Et slikt negativt redokspotensiale viser at grunnvannet under kulturlagene i tiltaksområdene har reduserende forhold og vil virke beskyttende på nærliggende kulturlag. Videre gir store fluktuasjoner i redoksverdi negative konsekvenser med tanke på bevaringsforhold for arkeologiske kulturlag. Det har derfor vært positivt at forholdene synes å ha vært stabile i alle brønnene i overvåkingsperioden. Kulturlag over grunnvannsnivå vil potensielt være mer utsatt for nedbrytning.

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

Tabell 4: Min-, maks-, median- og gjennomsnittsverdier av temperatur, redoksforhold, pH og ledningsevne, målt i miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 i måleperioden mars 2011 til mars 2014 (Bergersen 2020).



Figur 3: Grunnvannets temperatur, ledningsevne, pH og redoksforhold i miljøbrønnene MB4, MB5 og MB7 fra mars 2011 og til mars 2014, sammenstilt med døgnmiddel utetemperatur og mm nedbør per dag, data fra www.yr.no (Bergersen 2020).

3.2 Overvåking av miljøbrønner MB4 og MB8 fra 2013–2018

Forundersøkelsen med jordprøver fra miljøbrønn MB8 (se Figur 1) ble utført i 2013 (Hovd 2023). Jordkjemiske prøveanalyser fra lag i MB8 gav resultatene gode til utmerkede bevaringsforhold i sjiktene 2,49 til 2,19 moh. og utmerkede ved sjiktene 1,39 moh. og ned til undergrunn. Tilstanden ble vurdert som 4 – god til 5 – utmerket (se Tabell 1). Overvåkingsperioden til miljøbrønn MB4 ble forlenget inn i denne perioden (februar 2013 og ut 2018), og skulle overvåke dette området sammen med MB8 (desember 2013 og ut 2018).

Resultatene fra overvåking av grunnvannstand, temperatur, pH, redoks og ledningsevne i miljøbrønnene er vist som gjennomsnitt, median-, maks- og minimumsverdier, og viser hvordan parameterne utvikler seg over tid.

Data fra miljøovervåkingen ved utgangen av 2018 har vist at grunnvannsnivået ved MB4 og MB8 fluktuerte noe i nedbørsrike perioder gjennom overvåkingsperioden, men har holdt seg relativt stabilt. Stabile forhold med lite fluktusjon av grunnvannsspeilet vil være beskyttende for kulturlagene i mettet sone i området rundt miljøbrønnen. Resultater har også vist relativt stabile forhold for temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensialet. Oversikt over bevaringsforholdene for organisk materiale fra de ulike miljøbrønnene er vist i Vedlegg 2.

3.2.1 Grunnvannsnivå MB4 og MB8

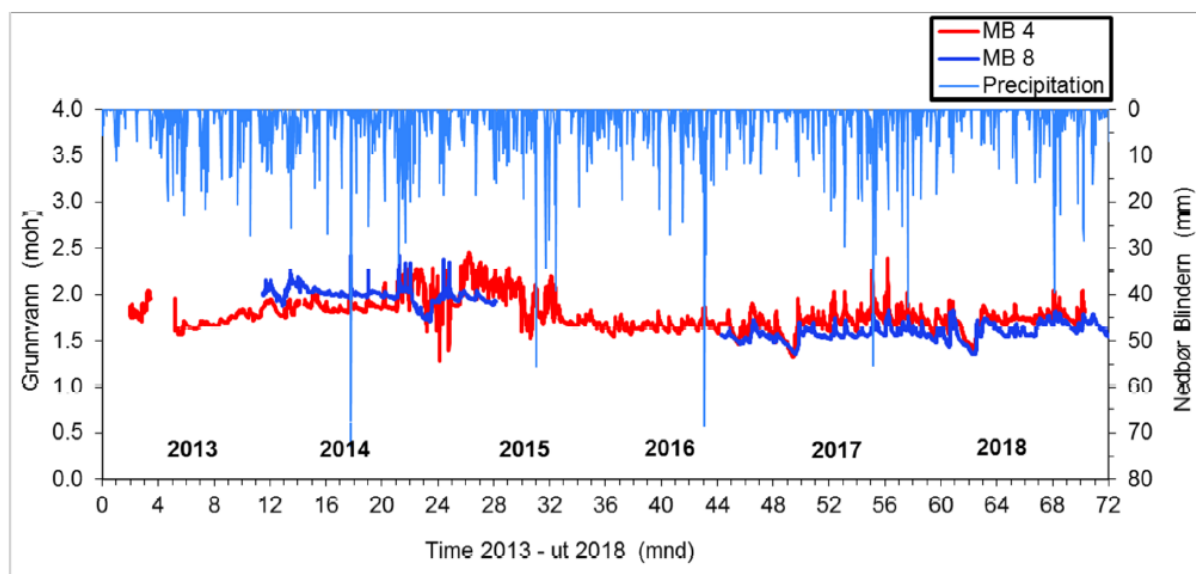
Tabell 5 og Tabell 6 viser resultater fra overvåking av grunnvannsnivå, målt i miljøbrønnene MB4 og MB8 i perioden 2014–2018, som min-, maks, median- og gjennomsnittsverdier (Bergersen 2020). Figur 4 viser grafisk fremstilling av grunnvannsnivå målt i de to miljøbrønnene (2013–2018), sammenstilt med nedbørsdata fra området.

Resultatene fra overvåkingen viser som nevnt relativt stabil grunnvannstand for de to brønnene. Grunnvannstanden variert med årstidene og nedbørsmengden. Likevel viste beregningene at min-, median- og gjennomsnitt hadde like grunnvannivåer brønnene seg imellom (se Tabell 3). Det kunne altså ikke påvises store forskjeller i grunnvannsnivå mellom brønnene som står på hver sin side av Nordenga bru, med betydelig byggeaktivitet på vestsiden i motsetning til østsiden.

For de nedbørsrike periodene, og fluktusjoner i nivåer som deretter registreres i måledataen (se Figur 4), viste minimumsverdien noe varierte forhold i MB4, men grunnvannstanden var aldri lavere enn 1,3 moh. (2015), og varierte opp til 1,6 moh. i 2014. Gjennomsnittsberegninger for MB4 lå på 1,9 moh. fra 2014–2015, men sank til 1,7 moh. i 2016–2018 (se Tabell 5). I miljøbrønn MB8 viste minimumsverdiene en grunnvannstand på 1,7 moh. i perioden 2014–2015, men sank til 1,4 moh. i 2016–2018. Gjennomsnittsberegninger for MB8 lå på 2,0 moh. i de første årene fra 2014–2015, men sank til 1,6 moh. i perioden 2017–2018 (se Tabell 6).

Median- og gjennomsnittsverdiene beregnet viste likevel små forskjeller i begge brønnene, noe som indikerer at grunnvannsnivåene ikke har svingt mye i brønnene seg imellom. Begge miljøbrønnene viste noe mer fluktusjon i perioden 2014–2015, samt mot slutten av måleperioden, som trolig var nedbørspåvirket. Noe som også kan relateres til perioder med mindre nedbørsmengder, var små reduksjoner i begge brønner. Noen av disse forskjellene i grunnvannets nivå ble observert mellom vinter- og sommerhalvåret. Fluktueringen av grunnvannet kan påvirke bevaringsforholdene til kulturlagene.

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. Kulturlag som lå i mettet sone fra omkring 2,0 moh. i området rundt MB8 hadde gode bevaringsforhold og står i liten grad i fare for å tørke ut og brytes ned. Lagene i umettet sone kan derimot potensielt være mer utsatt. I MB4 var alle kulturlagene i mettet sone fra 1,9 moh., og hadde gode bevaringsforhold. Vedlegg 2 illustrerer at de best bevarte kulturlagene som ble påvist i brønnene under forundersøkelsen lå i grunnvannsmettet sone.



Figur 4: Grunnvannshøyde målt i moh. fra miljøbrønnene MB4 og MB8 fra 2013 og ut 2018, sammenstilt med mm nedbør per dag målt i samme periode (data fra www.vr.no). MB8 ble etablert og startet desember 2013. Problemer med overvåkingsutstyret førte til manglende data fra mai 2015 til september 2016 (Bergersen 2020).

3.2.2 Temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensiale MB4 og MB8

Tabell 5 og Tabell 6 viser resultater fra overvåking av temperatur, pH, ledningsevne, redokspotensiale og oksygeninnhold, målt i måleperioden med multiparametersensor fra 2014 og ut 2018, beregnet og vist som min-, maks-, median- og gjennomsnittsverdier. Figur 5 og Figur 6 viser grafisk framstilling av de samme parameterne gjennom måleperioden.

Temperaturen i grunnvannet i miljøbrønnene MB4 og MB8 svingte noe med utetemperaturene gjennom sesongene, men variasjonene var små i måleperioden 2013–2018 og forholdene var stabile. I miljøbrønn MB4 (se Tabell 5) var forskjellen mellom høyeste og laveste grunnvannstemperatur på 5 °C (2014), 3,5 °C (2015), 3 °C (2016) og 2 °C (2017–2018). Median- og gjennomsnittsverdiene beregnet lå på 9–10 °C i de første årene av overvåkingsperioden, men viste en økning til 11 °C mot slutten av måleperioden. Overvåkingsdata viste at grunnvannstemperaturen i MB8 (se Tabell 6) varierte med 3,0 °C i både periodene 2014–2015 og 2016–2018, med et beregnet gjennomsnitt på 9,2 °C, noe som er litt lavere enn MB4. Det vil være positivt om store temperatursvingninger unngås og at grunnvannet blir liggende i snitt nær 10°C, da dette gir lav nedbrytingsrate hvis oksygen skulle trenge inn i kulturlagene.

Resultater fra multiparametersensorene viste at **pH** i de to brønnene var stabil. I MB4 lå målingene på nøytralt nivå på ca. 7,0 målt som median- og gjennomsnittsverdier i overvåkingsperioden 2014–2018 (se Tabell 5). Målingene i MB8 fra perioden 2014–2015 viste gjennomsnittverdier på nøytralt nivå på ca. 7,1, etterfulgt av en svak økning i siste del av overvåkingsperioden til pH 7,4 (Tabell 6 og Figur 5). Det samme skjedde i miljøbrønn MB5, som var den brønnen som lå nærmest MB8 (se Figur 3). Dette er en observert økning som det har vært noe vanskelig å forklare, da ledningsevne sank i samme periode.

Ledningsevnen, som angir vannets innhold av løste salter, varierte i liten grad mellom de to brønnene. Forskjellen var på ca. 3 mScm⁻¹. Miljøbrønn MB4 (se Figur 4) viste et gjennomsnitt på 24–25 mScm⁻¹ fra 2014–2016, men sank til 22 mScm⁻¹ i årene 2017–2018. MB8 (se Figur 5) viste en ledningsevne på 22 mScm⁻¹ i 2014 og fram til sommeren 2015, men sank deretter til 19,5 mScm⁻¹ i 2017–2018. Figur 5 viser at ledningsevnen sank i MB4 i en periode med variasjon i nedbørsmengden høsten 2015, mens den fluktuerte mindre i MB8. Begge brønnene viser at grunnvannet er sjøvannspåvirket med ledningsevne rundt 20 mScm⁻¹.

For de to miljøbrønnene MB4 og MB8 ble det påvist gjennomsnittlig negative **redoksverdier** i hele siste del av overvåkingsperioden. Dette indikerer at det ikke tilføres friskt oksygen til grunnvannet som kan starte og/eller påvirke nedbrytningsprosessen av de organiske komponentene i kulturlagene. I miljøbrønn MB4 (se Tabell 5 og Figur 6) har redokspotensialet variert lite gjennom måleperioden fra 2014–2018, med median- og gjennomsnittsverdier beregnet til mellom -490 og opp til -450mV. Redokspotensialet i MB8 (se Tabell 6 og Figur 6) stabiliserte seg på - 450 mV fra mars 2014 til -496 mV i løpet av måleperioden ut 2018. Forskjellen mellom registrerte min- og maksverdi var større i starten 2014–2015 (-200 mV) enn i slutten av måleperioden 2016–2018 (-10mV).

I miljøbrønn MB8 ble det som et tillegg til redoksmålinger også målt for **oksygenkonsentrasjon** i grunnvannet (registrert med optisk sensor). Det ble målt helt stabile og lave (nesten ikke målbare) oksygenkonsentrasjon i grunnvannet på 0,10–0,13 mgL⁻¹ i hele perioden (se Tabell 6 og Figur 6). Dette har vist et godt samsvar i at et lavt redokspotensial samtidig viser ikke målbart oksygen og anoksisk grunnvann. Ved å sammenligne grunnvannets redokspotensialet i MB4 og MB8, kan det trolig konkluderes med at oksygen heller ikke har trengt ned i grunnvannet og påvirket kulturlagene i området for MB4 i overvåkingsperioden.

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

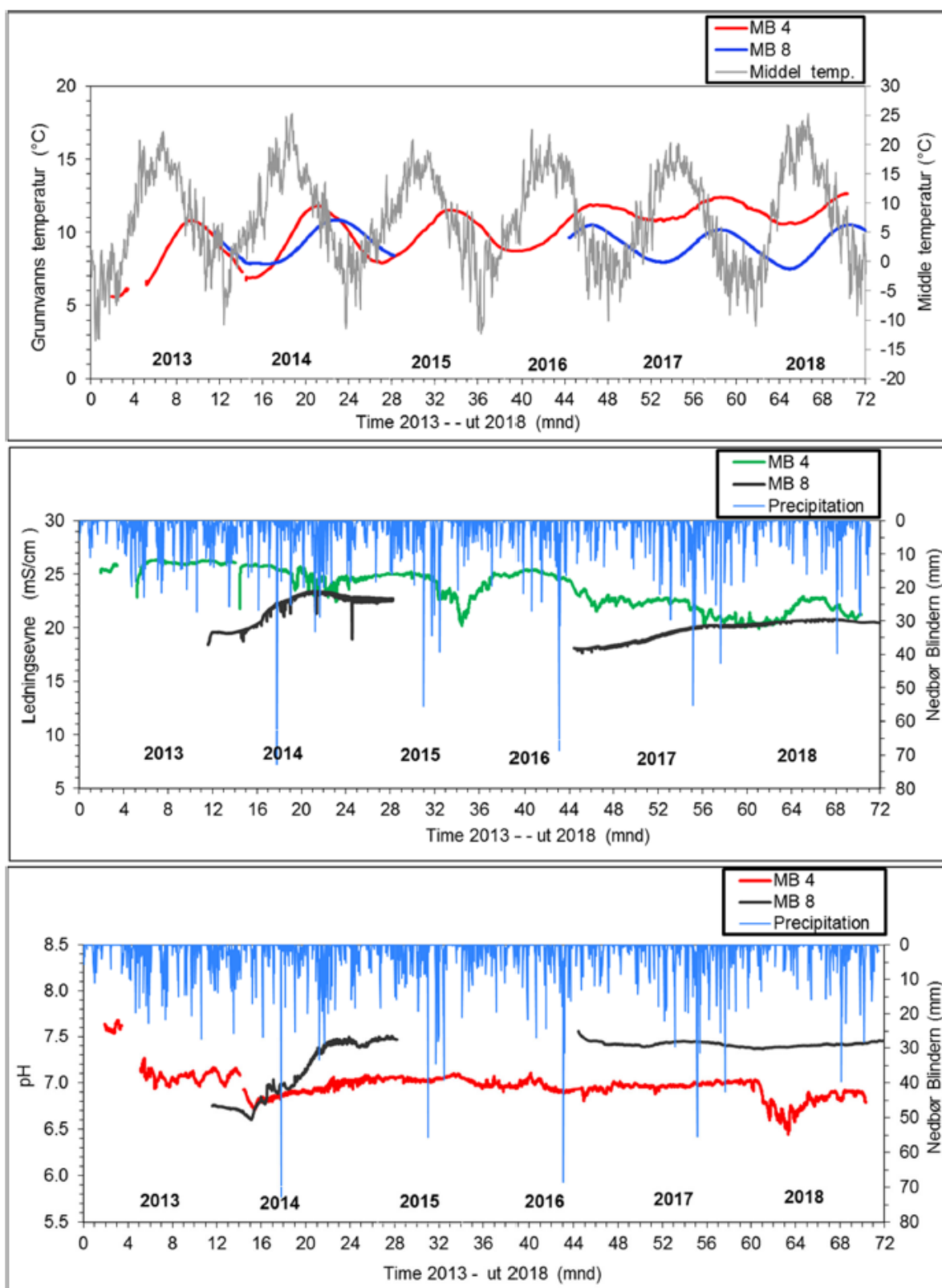
Grunnvann 2017 til 2018	MB 4 moh	Temperatur 2017 til 2018	MB 4 °C	Redoksforhold 2017 til 2018	MB 4 mV	pH 2017 til 2018	MB 4	Ledningsevne 2017 til 2018	MB 4 mS
Min	1.33	Min	10.6	Min	-490	Min	6.5	Min	19.9
Max	2.39	Max	12.7	Max	-416	Max	7.0	Max	22.9
Median	1.73	Median	11.4	Median	-459	Median	7.0	Median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

Tabell 5: Maks-, min-, median- og gjennomsnittsverdier av grunnvann, temperatur, pH og ledningsevne, målt i miljøbrønnene MB4 i måleperioden 2014– 2018 (Bergersen 2020).

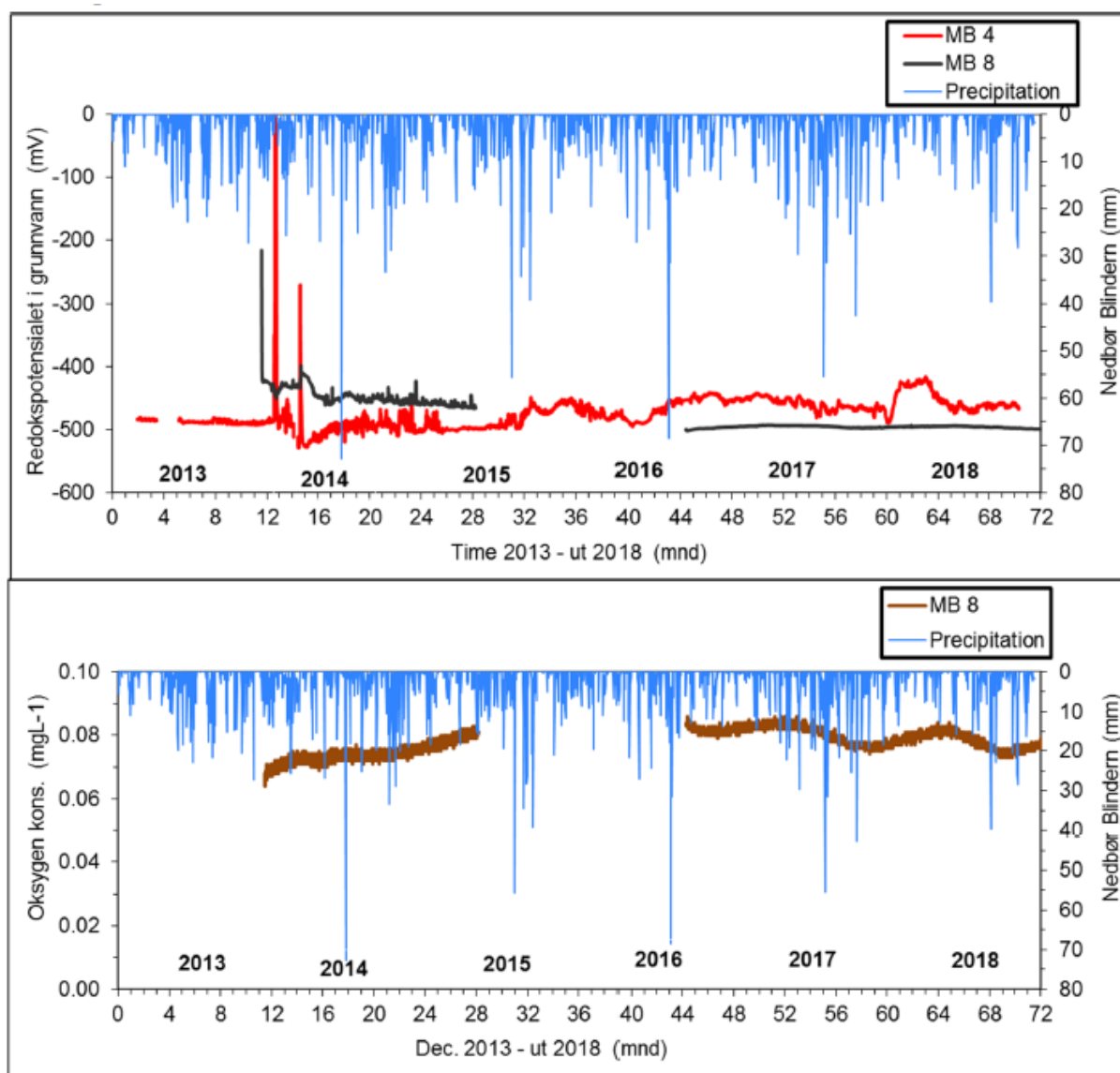
Grunnvann 2014 & 2015	MB 8 moh	Temperatur 2014 & 2015	MB 8 °C	Redoksforhold 2014 & 2015	MB 8 mV	pH 2014 & 2015	MB 8	Ledningsevne 2014 & 2015	MB 8 mS cm ⁻¹	Oksygen 2014 & 2015	MB 8 mgL ⁻¹
Min	1.7	Min	7.8	Min	-500	Min	6.6	Min	18.1	Min	0.114
Max	2.4	Max	10.9	Max	-216	Max	7.6	Max	23.4	Max	0.133
Median	2.0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

Tabell 6: Maks-, min-, median- og gjennomsnittsverdier av grunnvann, temperatur, redoksforhold, pH, ledningsevne og oksygeninnhold målt i miljøbrønnen MB8 i måleperioden 2014–2018 (Bergersen 2020).



Figur 5: Overvåkningsdata av grunnvannstemperatur, ledningsevne og pH fra MB4 og MB8 i perioden februar 2013 og ut 2018. MB8 ble startet desember 2013. Problemer med overvåkingsutstyret førte til manglende data fra mai 2015 til september 2016. Resultatene ble sammenstilt med døgnmiddel utetemperatur og mm nedbør per dag målt i samme periode, data fra www.vr.no (Bergersen 2020).



Figur 6: Overvåkningsdata av redoksforhold og oksygenkonsentrasjon i grunnvannet målt i miljøbrønnen MB8 og redoksforhold i MB4 fra desember 2013 og ut 2018. Problemer med overvåkingsutstyret førte til manglende data fra mai 2015 til september 2016. Resultatene ble sammenstilt med mm nedbør per dag målt i samme periode, data fra www.yr.no (Bergersen 2020).

4 Konklusjon

Denne sluttrapporten presenterer resultater fra overvåking av bevaringsforhold i arkeologiske kulturlag i Dronning Eufemias gate, målt i perioden 2010 til 2018, i forbindelse med etableringen av nytt gateløp/veibane i Oslo.

Ved prosjekt DEG42 ble det foretatt sammenlagt 52 grunnboringer med naverbor, seks borepunkt for potensielle miljøbrønner ble undersøkt, og fire miljøbrønner ble etablert og navngitt MB3, MB4, MB5 og MB7. Resterende 46 borepunkt var 41-2, 3, 4, 41-7-41-10, 41-7-41-10, 41-13-41-16, 41-19-41-22, 41-25-41-28, 42-1-42-7, 42-8-42-13, 42-15-42-21, 42-23-42-26, og 44-2, 4, 6, 8. I tillegg ble det utført grunnkjerneboring for geologiske analyser, hvor også kulturlag ble påtruffet, boresøyler 41-1, 41-6, 41-24, 42-22 og 44-10. I alle disse borepunktene ble det konstatert kulturlag fra middelalder, med enkelte og få unntak. Fra området merket «41», ble det tatt ut prøver til jordkjemisk analyse fra ti av 19 borepunkt. Fra området merket «42», ble det tatt ut prøver til jordkjemisk analyse fra 18 av 23 borepunkt. Området merket «44» var mindre, og det ble kun tatt prøver til jordkjemisk analyse fra tre av fire borepunkt. Kulturlagene i de undersøkte peleområdene merket 41-42 ble på grunnlag av den

arkeologiske tilstandsvurderingen og de jordkjemiske analysene vurdert som å ha generelt god bevaringstilstand og -forhold i samtlige boresøyler for pelehull. Tilstanden ble gjennomgående vurdert som 4 – god (se Tabell 1).

Det ble etablert miljøbrønner i utvalgte pelehull (MB3, MB4, MB5 og MB7) for å tilrettelegge for miljøovervåking av grunnvannstand og jordbunnskjemi. I første omgang skulle det gjelde det for en periode av fem år, der overvåkingen, utført av NIBIO, var finansiert av tiltakshaver. Måleperioden ble senere utvidet for MB4 ut 2018. Miljøbrønn MB3 hadde utmerkede bevaringsforhold i sjikt fra 0,3 til -0,15 moh., MB4 hadde utmerkede bevaringsforhold i sjiktene fra 0,75 til 0,45 moh. og god ved sjikt på 0,15 moh., mens MB7 utmerkede bevaringsforhold i sjikt på 0,15 moh. og god ved sjikt -0,15 moh. Overflatenære kulturlag i de undersøkte områdene vil være mer utsatt for nedbrytning.

Ved prosjekt DEG43 ble det foretatt en enkelt boring for etablering av en miljøbrønn, borepunkt 1. I dette borepunktet ble det følgelig konstatert kulturlag fra middelalder, og tatt ut fem prøver til jordkjemisk analyse. Kulturlagene i det undersøkte borepunktet ble på grunnlag av den arkeologiske tilstandsvurderingen og de jordkjemiske analysene vurdert som å ha god til utmerket bevaringstilstand og -forhold. Tilstanden ble vurdert som 4 – god til 5 – utmerket (se Tabell 1). Det ble etablert miljøbrønn i borepunkt 1, MB8, for å tilrettelegge for miljøovervåking av grunnvannstand og jordbunnskjemi i overvåkingsperioden. Dette skulle gjelde for en periode på fem år, der overvåkingen, utført av NIBIO, var finansiert av tiltakshaver. Måleperioden var da sammenfallende for den utvidede måleperioden til MB4, ut 2018. Miljøbrønn MB8 hadde gode til utmerkede bevaringsforhold for organisk materiale i sjiktene 2,49 til 2,19 moh. og utmerket ved sjiktene 1,39 moh. og ned til undergrunnen på -0,31. Overflatenære kulturlag vil også i dette området være mer utsatt for nedbrytning.

En sammenfattende vurdering av den arkeologiske bevaringstilstand for kulturlag var generelt god i samtlige boresøyler for pelehull tilknyttet DEG42. Tilstanden ble gjennomgående vurdert som 4 - god. For DEG43 ble bevaringstilstanden vurdert til å ha generelt god til utmerkede bevaringstilstand (4 – god til 5 – utmerket). De undersøkte kulturlag i de ulike miljøbrønnene viste stabile, gode til utmerkede, bevaringsforhold. Miljøbrønnene MB3, MB4, MB5, MB7 og MB8, alle etablert i forbindelse med anleggelse av nytt hovedgateløp i deler av Gamlebyen, var instrumentert med multiparametersonde for automatisk overvåking av grunnvann fra 2010, og for temperatur, pH, ledningsevne og redokspotensiale fra 2011 og 2013 (MB8).

Resultatene fra grunnvannsovervåkingen i miljøbrønnene ved DEG42 (MB3, MB4, MB5 og MB7) i perioden 2010–2013/2014, viste en relativt stabil grunnvannstand for de fire brønnene. Grunnvannstanden har variert med årstidene og nedbørsmengden, med lavere vannstand i tørre perioder i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret. Likevel viste beregningene at min-, median- og gjennomsnitt hadde like grunnvannnivåer brønnene seg imellom. Overvåking av grunnvannet i miljøbrønnene ved DEG42 (MB4) og DEG43 (MB8) i perioden 2013–2018, viste relativt stabil grunnvannstand med noen fluktuasjoner med årstidene og nedbørsmengden. Likevel viste beregningene at min-, median- og gjennomsnitt hadde like grunnvannnivåer brønnene seg imellom også i denne perioden.

Målingene viste altså at grunnvannsnivået i området ved både DEG42 og DEG43 har fluktuert lite gjennom årene 2010–2018. Videre kan det også påvises at redoksforholdene i grunnvannet har holdt seg stabilt lave. Temperatur, pH og ledningsevne har også vist relativt 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 i denne rapporten er det ikke grunn til å anta at arbeidene med å etablere ny veibane/gateløp har endret grunnvannets nivå og kjemiske sammensetning på en måte som har forverret bevaringsforholdene av kulturlagene.

5 Litteraturliste

- 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 av kulturminner i grunnvannsbrønner etablert i Dronning Eufemias gt. (DEG), Oslo. Sluttrapport 2010 til 2018.* NIBIO rapport 6 (96) 2018.
- Engen, T. & Johansen, L.M.B. 2011. *Arkeologiske undersøkelser i Dronning Eufemias gate. Havneanlegg fra middelalder.* NIKU Oppdragsrapport 103/2011. Norsk Institutt for Kulturminneforskning. Oslo.
- Engen, T., Kristiansen, M. & Helstad, M. 2020. *DEG43. Arkeologiske undersøkelser i Dronning Eufemias gate, seksjon 43.* NIKU Oppdragsrapport 105/2020. Norsk Institutt for Kulturminneforskning. Oslo.
- Hovd, L. 2023. *DEG43 – Miljøovervåking. Arkeologisk boreundersøkelse med kartlegging av bevaringstilstand og -forhold av kulturlag, samt etablering av miljøovervåkingsprogram ved DEG seksjon 43, Oslo.* NIKU Rapport 206/2023. Norsk Institutt for Kulturminneforskning. Oslo.
- Riksantikvaren & NIKU 2008. *The Monitoring Manual. Procedures and Guidelines for Monitoring, Recording, and Preservation Management of Urban Archaeological Deposits.*
- Standard Norge 2009. *Kulturminner. Krav til miljøovervåking og -undersøkelse av kulturlag.* Norsk Standard NS9451:2009. ICS 13.020.99: 91.010.99.
- Yr: <https://www.yr.no/sted/Norge/Oslo/Oslo/Oslo>

6 Vedlegg

Oversikt over vedlegg:

1. Koordinatliste over miljøbrønner plassert i Oslo tilknyttet DEG-prosjektet
 2. Oversikt over bevaringsforhold i de ulike miljøbrønnene
 3. Foto fra diverse hendelser med miljøbrønnene
 4. NIBIO Rapport Vol. 6 Nr. 96 2020
-

Vedlegg 1

Koordinatliste over miljøbrønner tilknyttet NIKU-prosjektene DEG42 og DEG43, med målt grunnvannstand ved etablering av brønnene (moh.).

Miljøbrønn	X	Y	Z	Grunnvannsnivå ved etablering (moh.)
MB3 DEG42	6642351.780	598519.471	2.849	1,35
MB4 DEG42	6642379.949	598552.175	2.445	1,48
MB5 DEG42	6642332.598	598558.334	3.125	-
MB7 DEG42	6642348.049	598576.086	3.990	1,51
MB8 DEG43	6642350.378	598579.083	3.691	1,79

Grunnvann i brønn MB5 – snitt i måleperioden 2010 til desember 2011 (Bergersen).

Grunnvann fra overflate	MB4 m	MB5 m	MB7 m
Min	1,6	1,7	2,3
Max	2,0	2,9	3,3
Snitt	1,7	2,2	2,7

Vedlegg 2

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

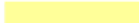
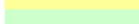
Miljøbrønn 7

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

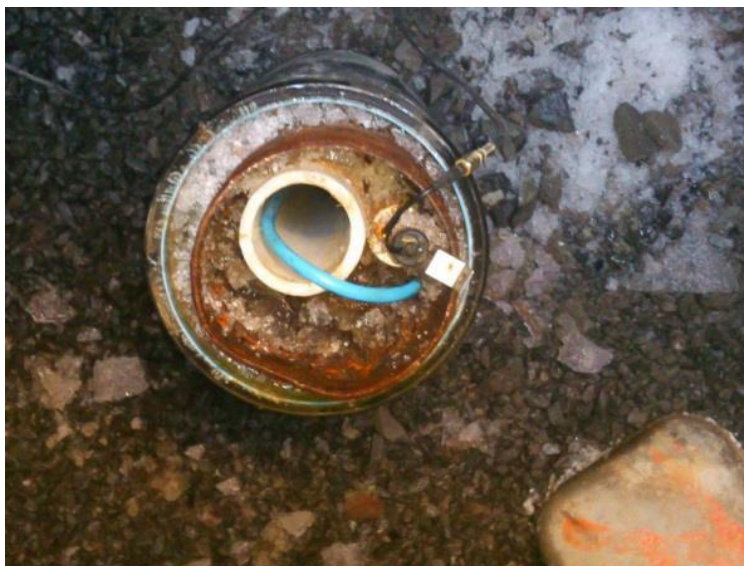
Vedlegg 3



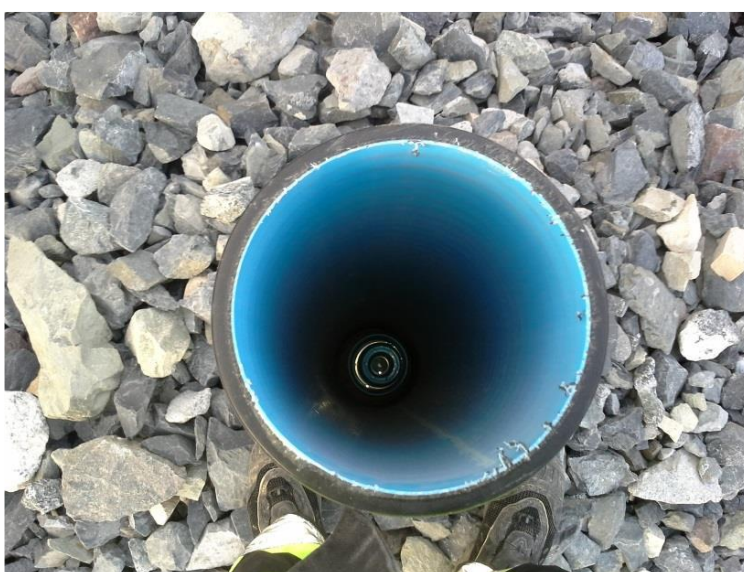
Området hvor brønn MB3 var tidligere, ny byggeplass med pæler er i ferd med å etableres. Foto: NIBIO.



Området ved miljøbrønn MB4. Brønnen har ikke vært lett tilgjengelig pga. bygging av ny spunt og anleggsarbeider. Foto: NIBIO.



Miljøbrønnen MB7 i Dronning Eufemias gate. Frost i røret. Foto: NIBIO.



Miljøbrønn MB8 i Dronning Eufemias gate under ferdigstilling av ny veitrase. Foto: NIBIO.

Vedlegg 4

NIBIO Rapport Vol. 6 Nr. 96 2020



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: 978-82-17-02618-1		ISSN: 2464-1162	ANTALL SIDER 25	ANTALL VEDLEGG: 1

OPPDRAAGSGIVER:

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

KONTAKTPERSON:

Vibeke V. Martens
Monica Kristiansen

STIKKORD/KEYWORDS:

Redoksførhold, 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 avviklet 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.

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

GODKJENT /APPROVED	PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER
	
_____ NAVN/NAME	_____ 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 ferdigstillelse 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.

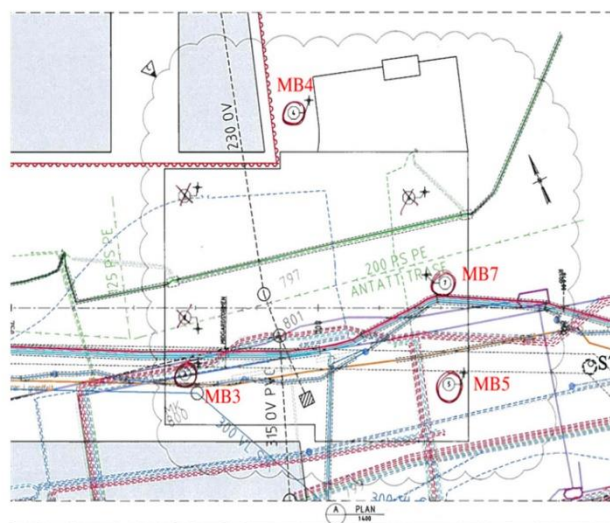
Mekanisk påvirkning: Graving ned i kulturlag forårsaker skade, ikke bare på de deler av lagene som blir direkte berørt, men også indirekte ved at kulturlagene blir mer eksponert for lys, oksygen og nedbør. Mekanisk skade i form av deplassering og redeponering kan således være like ødeleggende.

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 avviklet 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 loggere 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

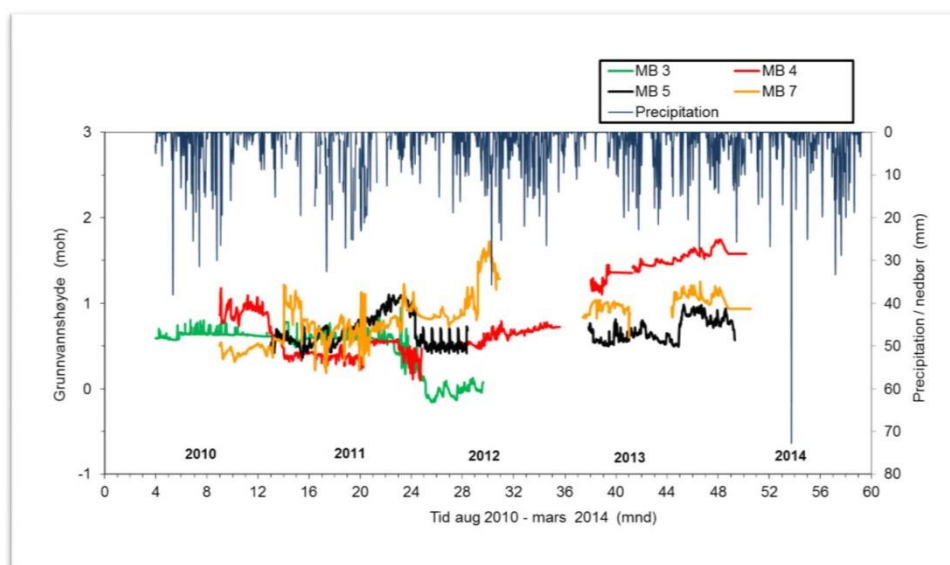
Grunnvannshøyden i moh. fra alle fire miljøbrønner i perioden 2010 til 2013 er vist i figur 4. Resultatene er sammenstilt med nedbørsdata fra området. I tabell 1 vises laveste og høyeste registreringer sammen med gjennomsnitt og median beregninger for hver brønn. Alle brønnene viser variasjon i grunnvannet i nedbørsrike perioder gjennom overvåkingsperioden hvor det var stor arbeid og byggeaktivitet i området. Likevel viser beregninger at gjennomsnittet, medianen og minimum har like grunnvannnivåer 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 gjennomsnittsverdi 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 grunnvannnivå 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

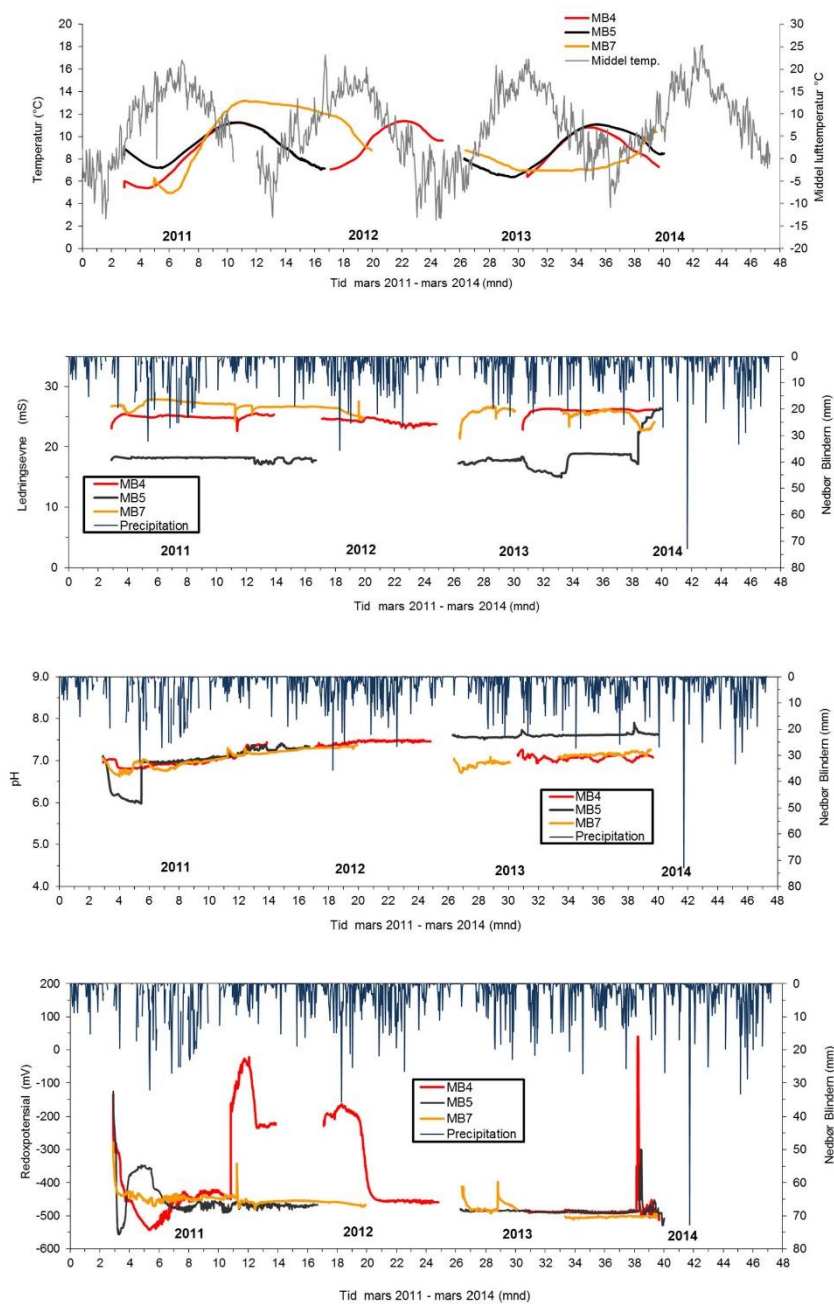
* Median verdi: I statistikk er median et sentralitetsmål som defineres som verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer. Fordelen ved å bruke median i forhold til middel eller gjennomsnittverdi er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som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

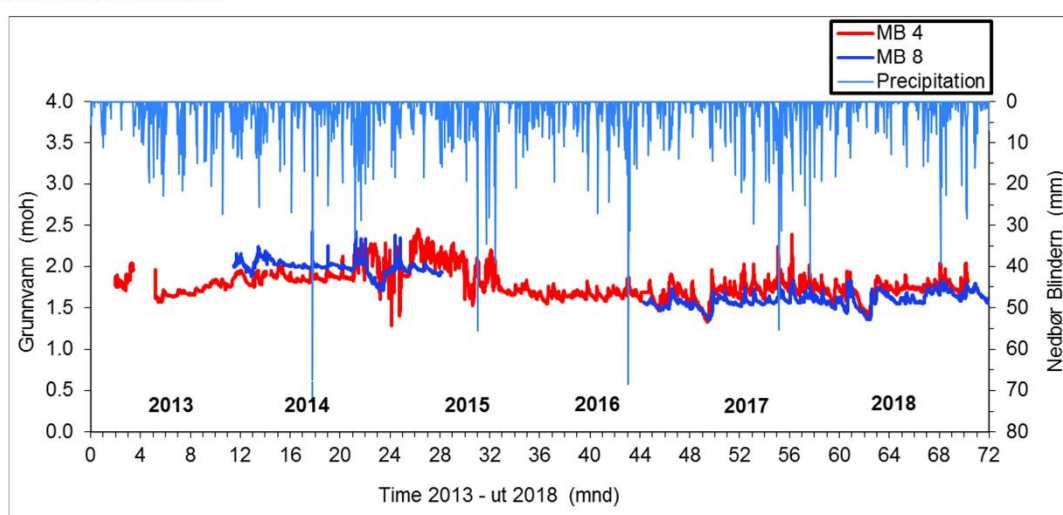
* Median verdi: I statistikk er median et sentralitetsmål som defineres som verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer. Fordelen ved å bruke median i forhold til middel eller gjennomsnittverdi er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som 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.vr.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 overvåkingsperioden (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 fluktusjon 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 Nørdenga 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 datarekken 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.

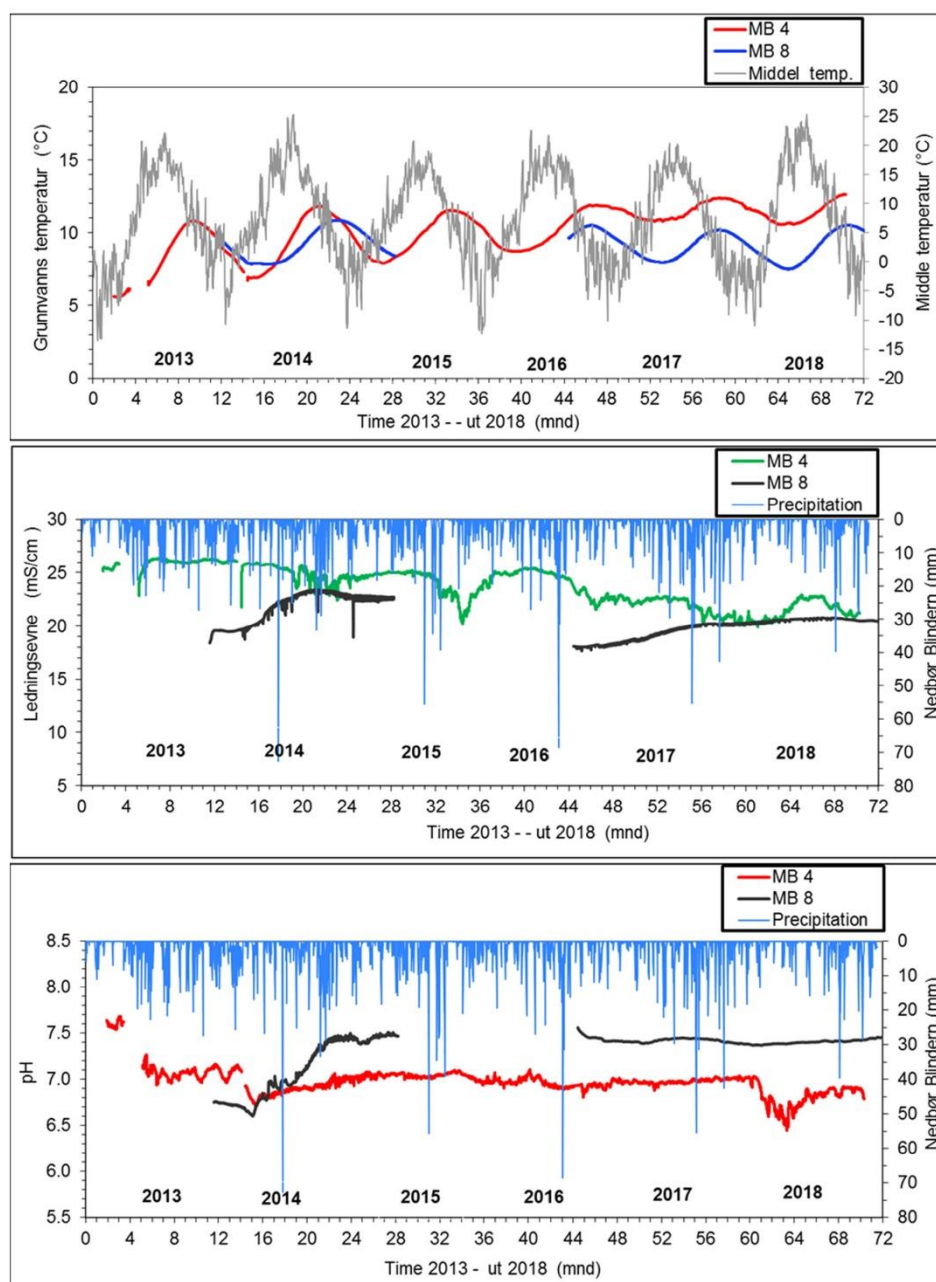
Tabell 1 viser også at grunnvannet i MB8 varierte 3.0 °C i begge perioder (2014&2015) og (2016 til 2018) med et beregnet gjennomsnitt på 9.2 °C som er litt lavere enn MB4 (Tabell 4). Dette er positivt ved at store temperatursvingninger unngås og at grunnvannet ligger i snitt nær 10°C som gir lav nedbrytingsrate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

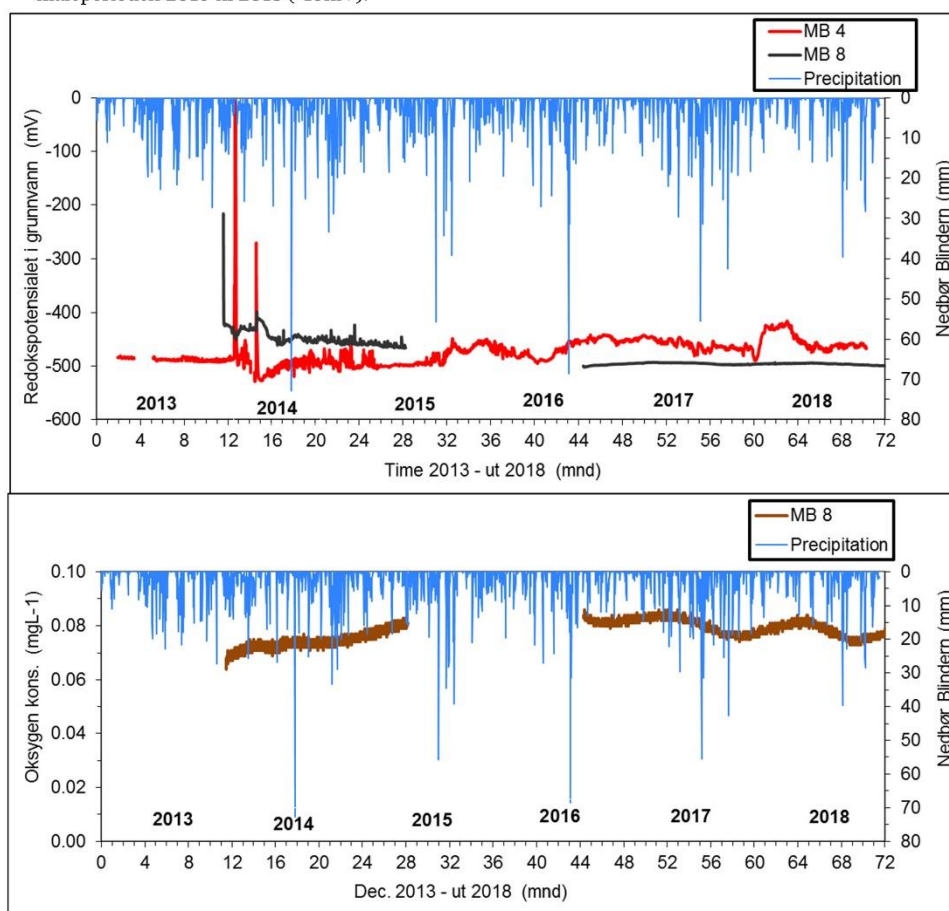


Figur 7. Overvåking av grunnvanns temperatur, ledningsevne og pH, målt fra Dronning Eufemias gt. i Bjørvika. MB4 og MB8 fra perioden feb. 2013 ut 2018. MB8 ble startet des. 2013 trøbbel med utstyret ga manglende data fra mai 2015 til sept. 2016. Resultatene er sammenstilt med døgnmiddel utetemperatur 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 overvåkingsperiode (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).

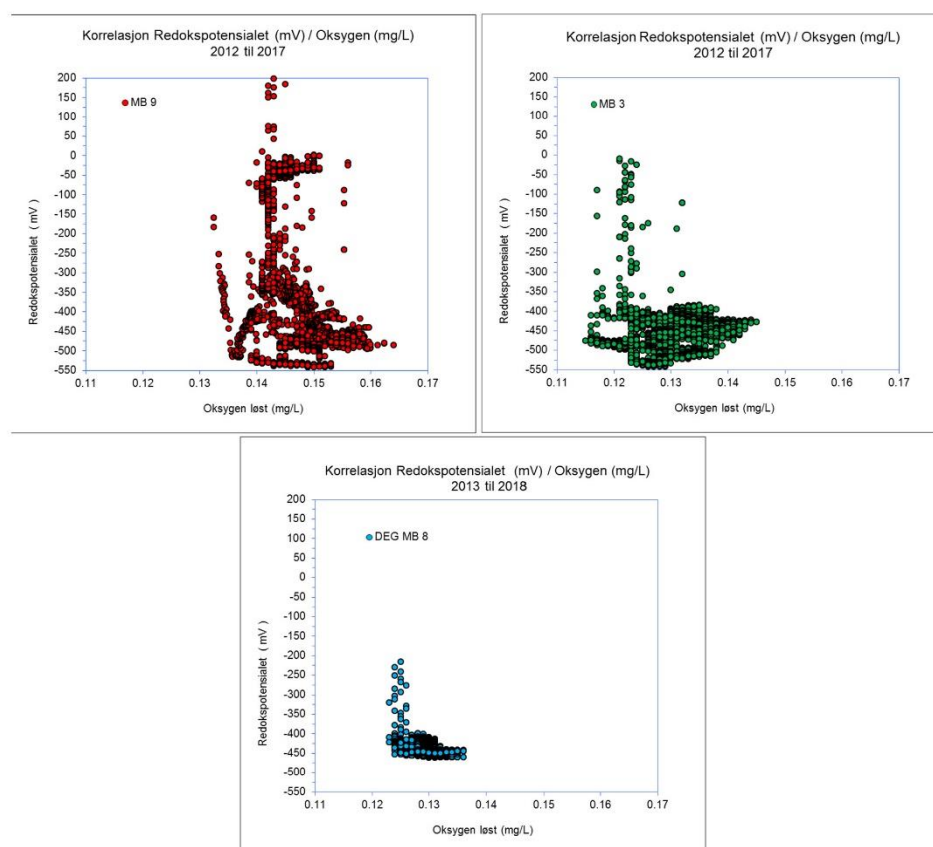


Figur 8. Overvåking av redoksforhold og oksygenkonsentrasjon i grunnvannet målt i miljøbrønnen MB8 og redoksforhold i MB4 fra des. 2013 ut 2018. Trøbbel med utstyret ga manglende data fra mai 2015 til sept. 2016. Resultatene er sammenstilt med mm nedbør per dag målt i samme periode (data fra www.yr.no).

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 redoksførhold 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

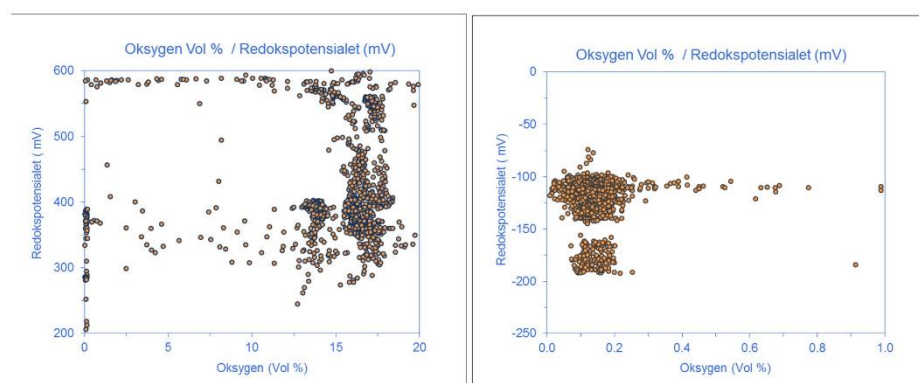
Figur 9 viser korrelasjons plott mellom redokspotensialet og oksygen konsentrasjoner målt i Kong Oscar gt. i Bergen (Bergersen, O. 2018 in prep) sammenstilt med data fra DEG MB8.



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 overvåkningsområdet 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 miljøovervåkningsprogram 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 en planlagt pga. ferdigstillelse av vei og trikketrase 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 ferdigstillelse 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				Miljøbrønn 4				Miljøbrønn 7			
Kote (MOH)	Prøver Lag	Bevaring *		Kote (MOH)	Prøver Lag	Bevaring *		Kote (MOH)	Prøver Lag	Bevaring *	
		Tilstand	Forhold			Tilstand	Forhold			Tilstand	Forhold
2.85				2.45				3.99			
1.35				1.48				1.51			
				0.75	1-1	C4	Utmerket	0.99			
0.35	1-1	C4	Utmerket	0.45	1-2	C4	Utmerket	0.39	1-3	C4	Utmerket
-0.15	1-2	C4	Utmerket	0.15	1-3	C4	Bra				
								-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		Oksiderende forhold
	Middels		Reduserende forhold
	Bra til utmerket	*	SOPS : Status etter
	Grunnvann		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.



Forsidefoto: Flyfoto fra Statens kartverk over deler av undersøkt lokalitet

nibio.no

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 207

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