



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Overvåking av arkeologiske kulturlag under nye "Foynt kjøpesenter" i Storgata 30-32 i Tønsberg

Sluttrapport for miljøbrønn MB5 & MB10 i perioden 2013-17

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 97 | 2020



Ove Bergersen
Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Overvåking av arkeologiske kulturlag under nye "Foyn kjøpesenter" i Storgata 30-32 i Tønsberg.
Sluttrapport for miljøbrønn MB5 & MB10 i perioden 2013-17

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR.	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
17.06.2020	6/97/2020	Åpen	8245	18/00552
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER	ANTALL VEDLEGG:	
978-82-17-02619-8	2464-1162	19	3	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Riksantikvaren, Distriktskontor Tønsberg
Norsk institutt for kulturminneforskning,
Distriktskontor Trondheim

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Jens Rytter
Anna H. Petersén

STIKKORD/KEYWORDS:

Redoksførhold, bevaring, kulturminner,
Miljøovervåking, nedbrytning

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljøovervåking i Middelalderbyen Tønsberg

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Rapporten oppsummerer hele perioden av overvåking av grunnvann og dens påvirkning av kulturlag under et nytt bygg Foyn eiendom i Storgata 30-32 i Tønsberg. Data for overvåkingen er hentet fra 2 miljøbrønner, MB5 og MB10, satt ned før ferdigstillelse av nytt bygg. Miljøbrønnene er satt ned i mettet sone med grunnvann og overvåking har foregått fra 2013 til 2017 for MB10 og 2014 og 2015 for MB5. Det kan se ut som om grunnvannet under nytt bygg fluktuert mer på sidene enn i midten. Ellers har NIBIO ikke observert store forandringer og svingninger i måleparameterne gjennom overvåkingen med unntak av at temperaturen i grunnvannet har steget 1 grad i MB5, men sunket 0,5 grader i MB10. Grunnvann temperaturene skiller seg ikke ut fra andre grunnvann temperaturer målt i nærliggende målepunkt som påvirkes av hus. Grunnvannet inneholder ikke oksygen som kan akselerer nedbrytning av organisk materiale fra kulturlagene.

Målingene i slutten av måleperiode har vist mer stabiliserende forhold etter at nytt bygg er ferdigstilt. NIBIO kan ikke si at nytt bygg har virket destabiliserende for de underliggende kulturlagene.

LAND/COUNTRY:

Norway

FYLKE/COUNTY:

Vestfold

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Tønsberg

STED/LOKALITET:

Foyn eiendom Storgata 30-32

GODKJENT /APPROVED

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

NAVN/NAME

**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Innhold

Forord	4
1 Innledning	5
1.1 Bakgrunn.....	5
1.2 Mål for overvåkingen.....	5
1.2 Avvik i måleperioden	5
2 Metoder og utstyr	7
2.1 Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner.....	7
2.2 Arkeologisk og jordfaglig dokumentasjonsmetode.....	7
2.3 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag	8
2.4 Innstilling og plassering av Miljøbrønner MB5, M6 og MB10	9
2.5 Miljøovervåking av arkeologiske kulturlag	11
2.6 Installasjon av sensorer og datalogger.	11
3 Resultater & diskusjon.....	12
3.1 Beskrivelse av bevaringsforholdene til kulturlagene i miljøbrønn MB5 & MB10.....	12
3.2 Grunnvannets høyde og temperatur i miljøbrønner under nytt bygg	12
3.2 Grunnvannets pH, ledningsevne og redoksforhold under nytt bygg	15
4 Konklusjoner	18
Referanser	19
Vedlegg.....	20

Forord

Rapporten er skrevet på oppdrag fra Riksantikvaren og NIKU. NIBIO Divisjon for miljø og naturressurser har i oppdrag utført miljøovervåking av arkeologisk kulturlag i 5 år under et nytt bygg Foyn eiendom på tomten av shoppingsentret Tønsberg Torv, Storgaten 30-32 i Tønsberg. I 2013 ble det installert overvåkingsutstyr som skal overvåke hvordan kulturlagene fra middelalderen bevares over tid in Situ under og etter etablering av nytt bygg. Rapporten her er sluttrapport for overvåking fra mai 2013 til og med 2017.

Fra NIBIO har følgende personer deltatt i prosjektet:

Måletekniske arbeider i felt: Øyvind Riise, Srikanthapalan Muthulingam og Ove Bergersen

Laboratorieundersøkelser: Hege Bergheim og Ove Bergersen

Rapportering: Ove Bergersen

Kvalitetssikring av rapporten: Trond Mæhlum

Ås, 2020

Ove Bergersen

Prosjektleder

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det berørte område ligger i verneområdet for middelalderbyen Tønsberg der Riksantikvaren som forvaltningsmyndighet behandler søknader om inngrep i bygrunnen.

Det aktuelle tiltak går tilbake til 2008 da Riksantikvaren ga NIKU, Tønsberg i oppdrag å utarbeide budsjett og prosjektbeskrivelse for varslet plan om utvidelse av shoppingstret Tønsberg Torv, Storgaten 30-32. Arbeidet ble ikke realisert i 2008 ettersom tiltakshaver utsatte utbyggningsplanene, men tiltakshaver, AC NOR gruppen ASA, kontaktet i 2010 Riksantikvaren på ny med søknad om å få fortsette prosjektet med noen endringer. Det ble fattet nytt vedtak og Riksantikvaren gav NIKU i oppdrag å oppjustere opprinnelig budsjett og utføre miljøovervåking av kulturlagene under nytt bygg.

Tiltakshaver i prosjektet er AC NOR gruppen ASA og kontaktperson er Ronny Strømnes. Ny tiltakshaver av tomten og ferdigstillelse av bygg er utført av Kristiansen og Bernhardt AS datert 27.01.2014, på vegne av Foyns Eiendom AS v/Pål Egeland.

Prosjektet omfattet et miljøovervåkings program med varighet på 5 år. Anna Petersén ved NIKU distriktskontor Trondheim er prosjektleder med ansvar for prosjektering og koordinering av oppdraget. Miljøovervåkingen utføres av NIBIO (tidligere Bioforsk) ved seniorforsker Ove Bergersen i samarbeid med NIKU.

Den første forundersøkelsen ble foretatt i august 2010 i tomtens bakgård (Bergersen & Petersen 2010). Her ble det påvist kulturlag godt bevart og en miljøbrønn (MB6) ble etablert (Bergersen, O. 2012). Resultatene fra overvåking av grunnvannet på tomten i store deler av 2011 viste ustabilitet og forandringer i startfasen. De første grunnvannstemperaturer på utsiden av nytt bygg (MB6, nå ikke i drift) viste et gjennomsnitt på 13 °C. En ny forundersøkelse på grunn av nye byggeplaner og nye pælepunkt ble foretatt i 2011 (Bergersen, O. 2015a). Miljøovervåkingen startet i MB10 i mai 2013 og MB5 i februar 2014. Første status rapport I ble skrevet for perioden 2013-2014 (Bergersen, O. 2015b) etterfulgt av statusrapport II for perioden oppstart 2013 til mars 2016 for MB10 og januar 2014 til mars 2016 for MB5 (Bergersen, O. 2016)

1.2 Mål for overvåkingen

Målet for prosjektet er å oppnå mer detaljert kunnskap om grunnvannshøyde og bevaringsforholdene for kulturlagene under gulvet i et nytt kjøpesenter før og etter ferdigstillelse. Bygget er fundamentert på peler gjennom kulturlagene til fjell. Lokaliteten for miljøbrønner er i en KIWI kolonialbutikk ferdigstilt i 2015.

1.2 Avvik i måleperioden

Miljøbrønn MB10 har gitt måleserier fra aug. 2013 til ut 2017. For miljøbrønn MB5 var måleutstyret satt ned tilgjengelig i to år 2014 og 2015. Under vedlikehold og batteriskift 6. mars 2016 var det umulig å finne miljøbrønn MB5 i den nye KIWI-butikken. Tore Klevstad som var ansvarlig fra byggherren er informert og skulle kontakte KIWI's butikkansvarlige. NIBIO har ikke hørt noen fra byggherre og vi konkluderte at miljøbrønn 5 ikke var mulig å spore tilgjengeligheten til i ny KIWI butikk. Derfor mangler vi data fra denne miljøbrønn i de to siste årene av måleperioden. MB10 som var tilgjengelig under hele byggeprosessen og ble funnet under paller med øl i en kjøleanretning og utstyr og batterier er skiftet flere ganger i måleperioden (se kap 2.4). Ingen av miljøbrønnene var merket på oversiktskart på faste og løse installasjoner i butikken. Her har byggherre sviktet.

2 Metoder og utstyr

2.1 Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner

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

Kulturlag: Lag med materiale knyttet til menneskelig aktivitet. Kulturlag kan variere meget i form, utseende, sammensetting og innhold beroende på lokalitet, tidsalder, type aktivitet og jordsmonn.

Steril grunn: Naturlig undergrunn, upåvirket av menneskelig aktivitet

Bevaringstilstand: Kulturlagenes nåværende tilstand avhengig av pågående og historisk nedbrytning.

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.

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

Anaerobe forhold: forhold der luft (oksygen) er fraværende. Ved anaerobe forhold blir organisk materiale oksidert av mikroorganismer som omsetter nitrat, oksidert jern og mangan, sulfat eller oksidert organisk materiale i stedet for oksygen. I naturlige miljøer er anaerobe forhold ensbetydende med reduserende (reduktive) forhold, men i hvilken grad forholdene er reduserende, varierer.

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

2.2 Arkeologisk og jordfaglig dokumentasjonsmetode

Miljøbrønnene ble boret med navbor. Det ble boret en meter av gangen. Søylen fra hver boremeter ble rensset nøye og fotografert av arkeolog Anna H. Petersen. Tilstanden og bevaringsforhold er vurdert etter bevaringsskala i henhold til Norsk Standard (NS 9451:2009), som utkom i september 2009 (se under) ble beskrevet.

Skalaen for tilstand (Tabell 1) opererer med seks klasser 0 til 5 der bevarings-tilstanden er bedre jo høyere tall som angis. 0-verdi brukes utelukkende da bedømmelse ikke lar seg gjøre. I skalaen finnes i tillegg en bokstavskode som angir plasseringen av strata i forhold til grunnvann. I denne undersøkelse er kategori "B – over/i grunnvann" blitt brukt. For kulturlag med utelukkende minerogent innhold (leire, silt, sand, grus) eller kulturlag der det organiske innhold vanskelig lar seg måle visuelt, for eksempel humusholdig sand, er verdien satt til B0. Skalaen for bevaringsforhold (Tabell 2) opererer med fem klasser 1 til 5.

Bevaringstilstand er vist over og bevaringsforhold er vist under etter Norsk Standard NS 9451:2009

Tabell 1. Bevaringsskala som anger tilstanden i kulturlaget

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

Tabell 2. Skala for bevaringsforhold ved jordfaglige undersøkelser

Posisjon i relasjon til grunnvann	Bevaringsforhold				
	1 (Elendig)	2 (Dårlig)	3 (Middels)	4 (God)	5 (Utmerket)
Over grunnvann (umettet sone) = A	A1	A2	A3	A4	A5
Overgangssone (fluktuerende vann) = B	B1	B2	B3	B4	B5
I grunnvannet (mettet sone) = C	C1	C2	C3	C4	C5

2.3 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag

Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemisk fysiske forhold, og at mikrobiologisk og kjemisk aktivitet er relativt lav. Stabile kjemisk fysiske forhold fører til at naturlige gradienter (f.eks. hydrauliske gradienter eller konsentrasjonsgradienter), som ofte holder naturlige kjemiske prosesser i gang, avtar. Dette medfører langsommere nedbrytning av kulturlag.

I naturen foregår nedbrytning av organisk materiale eller korrosjon av metaller parallelt med reduksjon av andre forbindelser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner og bruker denne energien til bl.a. oppbygging av biomasse. Mest energi får mikroorganismer hvis de kan bruke oksygen til å oksidere organisk materiale.

Noe mindre energi genereres hvis det brukes nitrat (NO_3^-) og enda mindre ved å bruke treverdige jern, Fe(III), fireverdige mangan (Mn (IV)), sulfat (SO_4^{2-}) eller oksidert organisk materiale, se også figur 2.

I naturen kan vi derfor observere at aerobe forhold med oksygen til stede, går over til nitratreduserende forhold når all oksygen er brukt opp. Deretter følger mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før en får metanogene forhold.

Under metanogene forhold observerer man den langsamste nedbrytningen av organisk materiale, og minst oksidasjon av metallgjenstander. Raskest foregår nedbrytning av organiske gjenstander under aerobe forhold. Nedbrytningshastigheten vil som oftest avta i rekkefølge nitrat-, mangan-, jern-, sulfatreduserende til metanogene forhold. Oksidative og nitratreduserende forhold kan som regel karakteriseres som dårlige bevaringsforhold, mens sulfatreduserende og metanogene forhold kjennemerket bra til utmerkede bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold taes i betraktning. I tabell 3 er det illustrert en enkel oversikt som viser generelt hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det oransje markerte

område vises nivåer av målte kjemiske parameter for typisk oksiderende forhold, men reduserende forhold er vist med blått.

Redoksforhold i grunnen kan karakteriseres ved å måle redoks sensitive komponenter i jord og porevann (oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid, metan): Høye oksygenkonsentrasjoner indikerer for eksempel at forholdene er oksidative og at mikroorganismene bruker oksygen til å bryte ned organisk materiale. Ved slike forhold kan vi forvente at nitrogen foreligger i stor grad som nitrat og ikke som ammonium, jern foreligger som oksidert jern (III) og konsentrasjon av sulfid vil som regel være svært lavt. Hvis forholdene derimot er jernreduserende, vil all oksygen og nitrat allerede vært brukt opp av mikroorganismer og nitrogen vil foreligge som ammonium. Det vil kunne måles høyere konsentrasjoner av jern (II) i porevann og jord, men det er ikke ventet høye sulfidkonsentrasjoner.

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. Dessuten vil tilstedeværelse av giftige forbindelser kunne hemme nedbrytningen av organisk materiale.

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

2.4 Innstallering og plassering av Miljøbrønner MB5, M6 og MB10.

Miljøbrønnen ble konstruert fra toppen med 0-1m stigerør, 1-2m med filterrør som står direkte i kontakt med kulturlagene og deretter 2-3m med stigerør (til sammen 3m). Filterrør som ble benyttet var PEHD 63mm/58mmx 1000mm 0,3mm slisse.

Overflaten ble tettet med bentonitt for å hindre at overflatevann renner ned langs brønnrøret og inn i brønnen. Disse rørene står inne i hus og vil ikke bli påvirket av regnvann.

Miljøbrønn MB6 (gammel brønn)

(X 6570613,77 Y580203,38, markoverflate 4,53 moh.)

Overvåket i 2010-2011 før byggearbeidet startet. Brønnen lå i bakgård til gammelt bygg.

Forundersøkelsen viste i 2010 bra bevaringsforhold fra 1,60m og nedover fra overflaten (Bergersen & Petersen, 2010). Alle lagene beskrevet i denne miljøbrønnen inneholdt middels til høyt organisk innhold.

Miljøbrønnen MB6 ble satt ned til 3m. To av disse var filterrør som fylles med grunnvann. Under forarbeidet har målinger i MB6 vist store svingninger pga. grunnvannforandringer og nedbørpåvirkning. Disse data er vist i Bioforsk rapport (Bergersen, O., 2012). Årsaken er trolig bruk av grunnvannpumper oppstrøms for brønnene og mye gravearbeider omkring brønnene. Grunnvannets temperatur i denne undersøkelsen ble beregnet til middels 13,9 °C.

Denne brønnen er avsluttet og rapportert etter at brønnen var gått helt tørr for grunnvann under bygging av nytt bygg (Bergersen, O. 2012). Ved oppstart av miljøbrønnene MB5 og MB10 ble det påvist mangel av grunnvann i MB 6. Denne brønnen er derfor ikke overvåket videre etter at nytt bygg er etablert.

Miljøbrønn MB 5

(X 6 570 625,628 Y 580 200,483, markoverflate 4,32 moh.)

Utstyr montert i februar 2014 etter at nytt gulv var støpt inne i nytt bygg (Vedlegg 3).

Brønn er 2.75m dyp fra gulv. NIBIO var usikre på grunnvannshøyden i denne brønn siden den inneholdt lite vann. Våt sedimentert leire ble observert ved installasjon. Brønnen ble spylt ren før overvåking utstyr ble satt inn og vi avventer resultater etter at vi får med overvåkingsdata om grunnvannet. Første måling av grunnvann etter spyling var på ca. 2.50 moh.

Miljøbrønn MB10



MB10 i Kiwibutikk Koordinat: (X 6 570 635,346 Y 580 242,442, markoverflate 4,253 moh.).

Utstyr montert i starten av juli 2013, Brønn er 2.0 m dyp fra gulv og overvåking av grunnvannet i miljøbrønn MB10 ble startet umiddelbart etter installasjon. Høyde grunnvann ca. 2.95 moh., temperatur 13.6 °C, pH 6.7 og ledningsevne 1.55mS/cm målt ved oppstart.

Borepunkt MB6, MB5 og MB10 markert som grønne kryss (Vedlegg 2) hvor det ble satt ned miljøbrønnrør for å overvåke grunnvannet under bygget. Aktive brønner fra 2013 til 2017 er miljøbrønn MB10 og i 2014 og 2015 for MB5.

2.5 Miljøovervåking av arkeologiske kulturlag.

Jordas varmekapasitet defineres som den varmemengden som skal til for å øke temperaturen i ett kilo jord med en grad. Vann har svært høy varmekapasitet (4,19 KJ/kg).

Varmekonduktiviteten (evnen til å lede varme) vil være svært avhengig av vanninnholdet i jorda. En vannmettet jord med høy vannkapasitet (dvs. stor evne til å holde på vann, for eksempel leirjord) vil ha mye større evne til å lede varme enn en tørr jord. Temperatursvingningene i tette jordarter (silt- og leirholdige) vil derfor være mindre enn for eksempel i sandjord og organisk jord. Derfor ønsker og krever riksantikvaren overvåking av grunnvannets høyde, temperatur, pH, ledningsevne og om redoksforhold i 5 år, for å se om de påviste arkeologiske kontekster er utsatt for svingninger og forandringer pga. bygging av nytt hus. Økt temperatur og svingninger i tørt og vått klima kan virke inn på nedbrytingen av de arkeologiske kontekster.

2.6 Installasering av sensorer og datalogger.

Multiparametersensorer som overvåker grunnvann, temperatur, ledningsevne, pH og redoksforhold i grunnvannet vil karakterisere både stabilitet, men også informere om hvordan grunnvannet som beveger seg igjennom kulturlagene i området påvirker bevaringsforholdene. Kontinuerlig overvåkning av miljøforholdene i kulturlag har foregått i 5 år 2013 - 2017. Dette er utført ved hjelp av sensorer koblet til automatiske loggere fra SEBA Hydrometrie GmbH (Tyskland). Alt feltarbeid med utstyr for overvåkingen er blitt utført av tekniker Øyvind Rise, NIBIO. Loggeren som er benyttet er en SEBA Datalogger type Slimcom -2 GSM med multisensorer type MPS-D8.

Data fra disse kan hentes manuelt, eller trådløst via modem og mobiltelefoni. Dette utstyret ble gjort klart og montert i MB10 brønnen juni 2013 og i MB5 fra februar 2014..




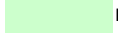

3 Resultater & diskusjon

3.1 Beskrivelse av bevaringsforholdene til kulturlagene i miljøbrønn MB5 & MB10

En forundersøkelse på Foyri eiendom ble utført i 2011 beskrevet i Bioforsk rapport (Bergersen, O. 2015a). Resultater fra denne rapporten viser kulturlag med dårlig og gode bevaringsforhold for organisk materiale i lag 3 & 4 fra 3.47 moh. ned til 2.67 moh. i MB5 og bra bevaringsforhold for organisk materiale i lag 1 og 2 fra 3.65 ned til 3.35 moh. i MB10 (Tabell 3) For uorganisk materiale ble det vurdert middel til bra bevaringsforhold i begge miljøbrønnene. Informasjonen fra forundersøkelsen til de to miljøbrønnene viser grunnvann fra steril leire og opp til kulturlagene. Kulturlag 1 (3.65 moh) i MB10 kan være i faresone over grunnvann, men er trolig fuktig nok og har reduserende forhold. Kulturlag 3 (3.47 moh) i MB5 er allerede påvist å ha dårligere bevaringsforhold (Tabell 3). Detaljer av analysen er vist i vedlegg 1.

Tabell 3. Illustrasjon på bevaringsforholdene var ved oppstart, og hvorledes kulturlagene analysert i 2011 kan påvirkes av grunnvann og fluktusjoner.

Miljøbrønn MB5						Miljøbrønn MB10							
Dybde (moh)	Prøver Lag	Bevaring				Redoks forhold *	Dybde (moh)	Prøver Lag	Bevaring				Redoks forhold *
		Arkeologisk *	Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks forhold *				Arkeologisk *	Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks forhold *	
4.32						4.25							
4.02	1	B4				3.65	1	B5	Bra	Middels	B4		
3.72	2	B4				3.35	2	B5	Bra	Bra	B4		
3.47	3	B4	Dårlig	Middels	B2	2.60	Leire						
2.67	4	B4	Bra	Bra	B4	2.25	Leire						
1.75	Leire					Grunnvann + fluktureingsone							
1.32	Leire					Grunnvann + fluktureingsone							

	Elendig til dårlig		Oksiderende forhold
	Middels		Reduserende forhold
	Bra til utmerket		

* SOPS : Status etter Norsk Standard NS 9451:2009

3.2 Grunnvannets høyde og temperatur i miljøbrønner under nytt bygg

Grunnvannsnivået etter at nytt bygg er ferdigstilt har ikke forandret seg mye, men har fluktuert noe med nedbørmengden i Tønsberg (Figur 2). Nivået til grunnvannet i begge miljøbrønner viser at fluktueringen var noe større i MB10 sammenlignet med MB5. Utslagene sees bedre når nedbøren overstiger 60-70 mm/d. Rapporten viser beregnede data av min, maks, median og gjennomsnitt verdier fra Miljøbrønn MB5 som varte kun i årene 2014 og 2015. Før og etter disse år var ikke brønnen tilgjengelig for miljødata. For miljøbrønn MB10 har vi måleserier fra 2013 til 2017 siden denne brønn har vært tilgjengelig både under og etter ferdigstilling av nytt bygg.

Vi har beregnet medianen* på dataseriene for alle sensorer fra hver brønn for bedre å kunne vurdere evt. forskjeller mellom brønnene. De viser nesten ingen forskjeller fra gjennomsnitt verdiene.

* 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 viser beregnede min, maks, median og gjennomsnitt verdier av grunnvanns høyde, temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold fra miljøbrønn MB5 i perioden 2014 og 2015. Tabell 5 viser de samme beregninger for miljøbrønn MB10 i årene 2013 og ut måleperioden 2017. På disse årene har grunnvannet steget med 10 cm i miljøbrønn MB10 (2.82- 2.90 moh.) og er uforandret i MB5 på 1.83 moh. MB5 viste noe høyere grunnvann på maks 2,60 moh. i starten av måleperioden fra 2014 grunnet rengjøring og spyling før det stabiliserte seg over tid til. Etter at den stabiliserte seg lå gjennomsnittlig grunnvannsnivå omtrent 1 m lavere i MB5 enn i MB10 (Figur 2). Fluktueringen i MB10 viser ca. 60 cm forskjell mellom min og max høyde (Tabell 5). Fluktueringen i MB5 viste en forskjell på 35 cm etter at grunnvannet stabiliserte seg i 2015 på ca. 1.82 moh. (Tabell 4).

Grunnvannet målt i 2011 fra Miljøbrønn MB6 (utendørs ikke i bruk) viste fluktuering på 1 meter mellom 1.8 til 2,8 moh. med en gjennomsnittlig grunnvannshøyde på 2,7 moh. (Bergersen, O. 2012). Det kan derfor se ut som om grunnvannet fluktuerer mer på siden av bygget enn i midten

Grunnvannstemperaturen i MB10 var stabil, men sank fra omkring 14 og ned til 13,6 °C i løpet av overvåkingstiden. I MB5 ble gjennomsnitt grunnvannstemperatur målt fra 14,3 °C i 2014 til 15,1 °C i 2015. Til sammenligning fra Miljøbrønn MB6 (utendørs ikke i bruk), lå grunnvannstemperaturen på 13,8 °C med maksimum verdi på 3 °C høyere enn målinger beskrevet her (Bergersen, O. 2012). Det skal sies at sistnevnte målinger er utført i sommerhalvåret.

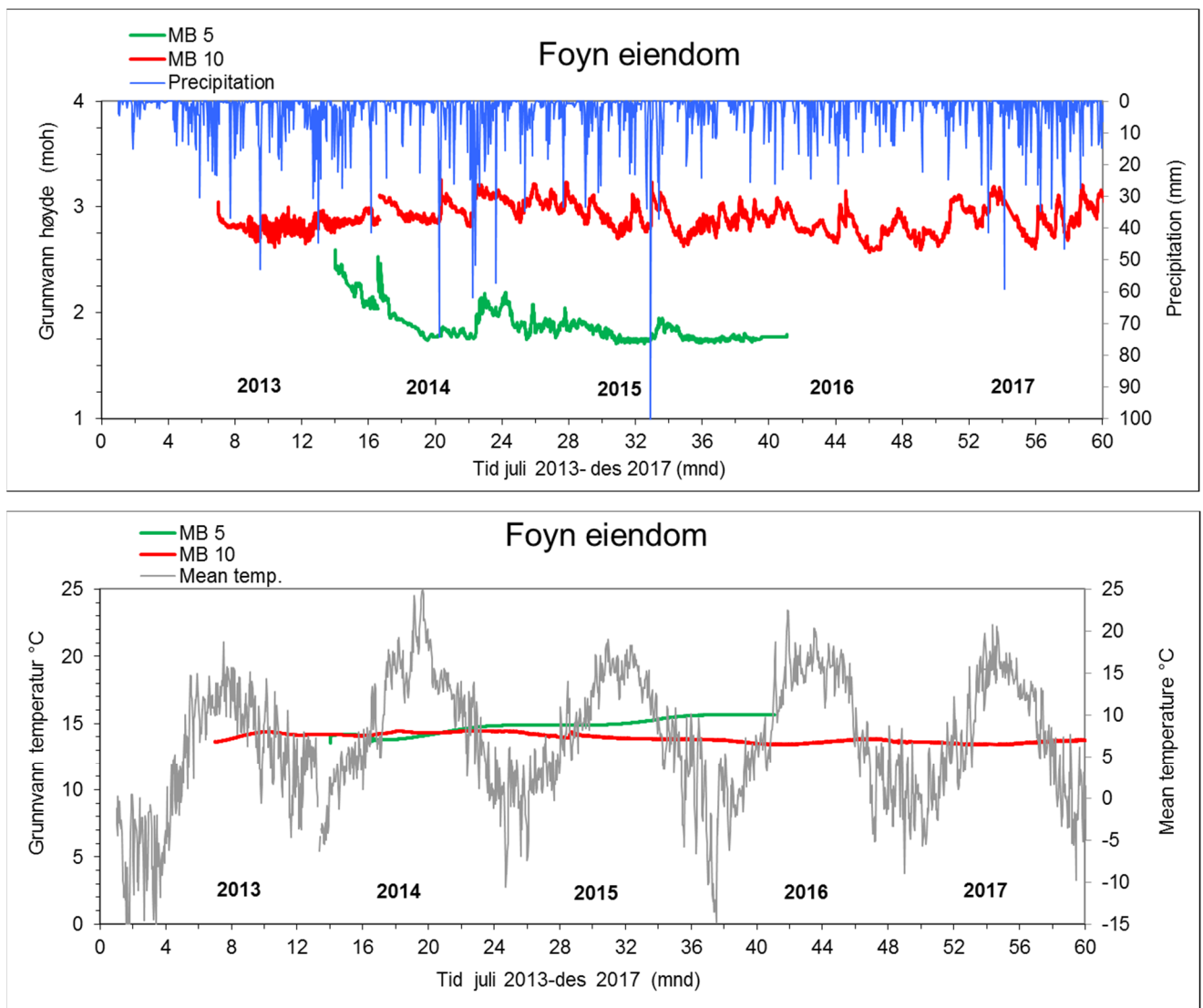
Vi kan ikke si at temperaturen i grunnvannet under nytt bygg har steget over flere år med overvåking. Det vi kan anta er at grunnvannstemperaturen i området rundt Foyn eiendom er noe høyere sammenlignet med overvåkning av grunnvann i miljøbrønner i Nedre Lang gt. i Tønsberg.

Temperaturen fluktuerer ikke med utetemperaturen, og ligger ca. 2 °C høyere enn i nærliggende miljøbrønner fra Nedre Langgate (Bergersen, O. 2013). Begge disse to overvåkingsbrønnene ser ut til å bli påvirket av varmekilder fra kjeller og hus. Overvåking i fem år fra en brønn uten påvirkning fra hus viste middeltemperatur i grunnvann på 9-10 °C som er opp til 4-5 °C lavere (Bergersen, O. 2013). Miljøbrønnen fra tidligere målinger upåvirket av hus vil være en referanse for målingene siden den ligger i samme området som MB5 og MB10. Miljøovervåking nærmere Foyn eiendom ved en middelalder båt har vist at grunnvannets gjennomsnitt temperatur har steget fra 13 til 14 °C de siste 3 år vurdert med tidligere verdier (Bergersen, O. 2014).

Tabell 4. Max, min, median og gjennomsnittverdier av grunnvannsnivå, grunnvannets temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold beregnet i MB5 årene 2014 og 2015.

2014	MB 5 Grunnvann moh	MB 5 Temp °C	MB 5 pH	MB 5 Ledningsevne mScm -1	MB 5 Redoks mV
Min	1.74	13.54	5.53	1.83	-333
Max	2.60	14.86	6.57	4.31	145
Median	1.83	14.16	5.73	3.22	-283
Gj.Snitt	1.88	14.26	5.78	3.18	-280

2015	MB 5 Grunnvann moh	MB 5 Temp °C	MB 5 pH	MB 5 Ledningsevne mScm -1	MB 5 Redoks mV
Min	1.71	14.86	5.91	2.51	-327
Max	2.08	15.63	7.22	3.62	-254
Median	1.82	14.91	7.00	2.78	-318
Gj.Snitt	1.82	15.08	6.89	2.78	-308

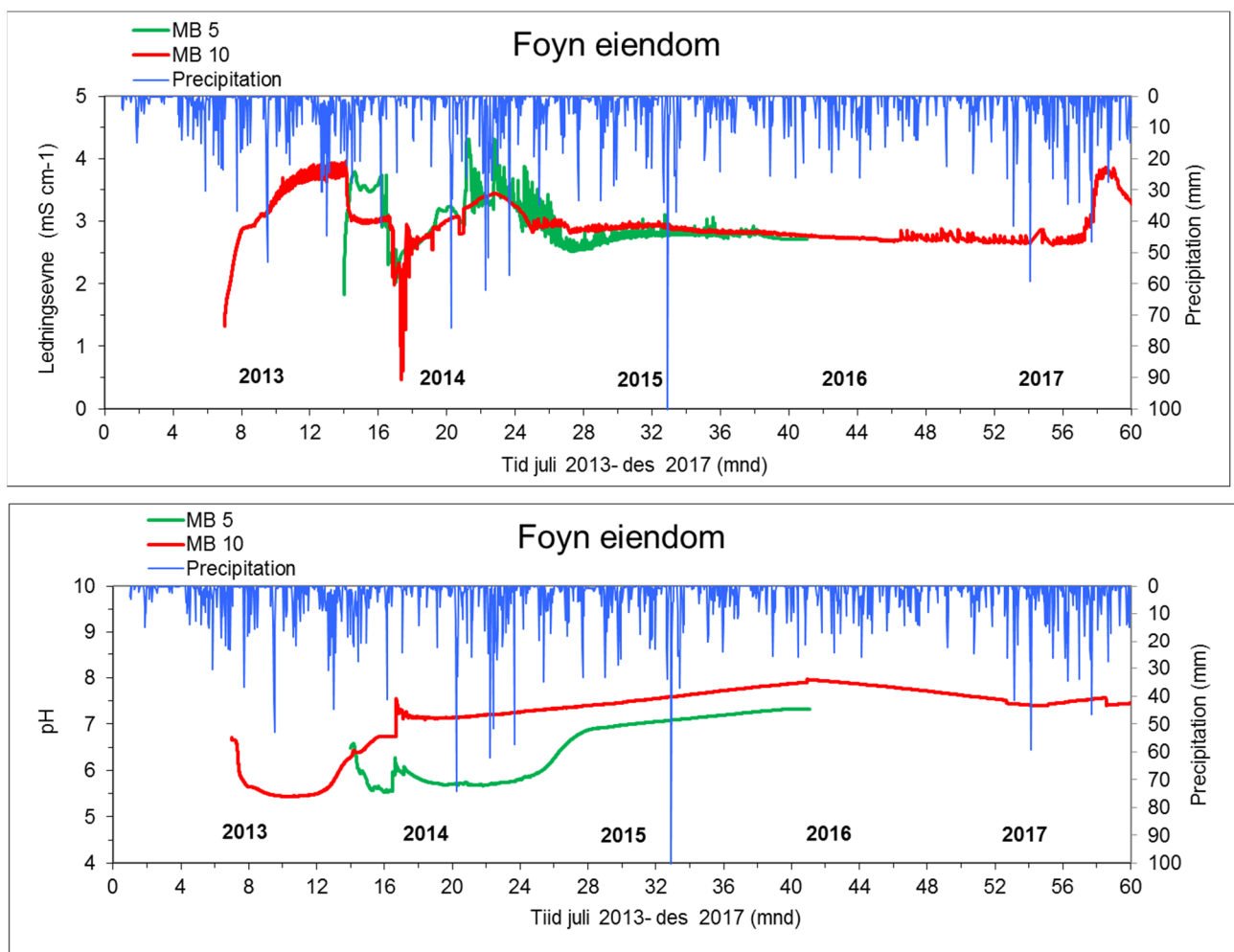


Figur 2. Grunnvannsnivå (over) og temperatur (under) i miljøbrønnene MB5 og MB10. Resultatene er sammenstilt med døgnmiddel utetemperatur og mm nedbør per dag målt i samme periode i Tønsberg (data fra www.yr.no).

Nye og gamle studier på nedbryting av organisk materialet ved NIBIO (Petersén & Bergersen 2016) og undersøkelser utført ved Nationalmuseet i Danmark (Hollesen & Matthiesen, 2011) viser at ved omkring 10 grader skjer det svært lite, men økning fra 10 og 15 °C øker nedbrytningshastigheten vesentlig, spesielt med oksygen tilgjengelig. Under nybygget ved Foyen Eiendom er grunnvannet reduserende uten oksygen, noe som er gunstig for god bevaring. Nedbrytingsraten på kulturlagene kan øke når temperaturen øker opp mot 15 °C, selv uten oksygen. Dette avhenger også av hvor tilgjengelig det organiske materialet er for nedbryting fra anaerobe organismer til stede i kulturlaget og i grunnvannet.

3.2 Grunnvannets pH, ledningsevne og redoksforhold under nytt bygg

Ledningsevnen (saltinnholdet i grunnvannet) svinger opp og ned i starten av overvåkingsperioden når bygget ikke var ferdig, men har sunket og stabilisert seg på omkring 2.8 mScm^{-1} etter at bygget er ferdigstilt (Figur 3). Figur 3 viser at pH ble registrert relativt lav både i MB10 og MB5 i starten av måleperioden under pH 6, men steg til 6,8 og 6,9 gjennom 2014 i begge brønner. I løpet av perioden 2015 og 2017 har pH steget og stabilisert seg omkring 7.5 i MB10 (Tabell 5). Det er en positiv observasjon at grunnvannets pH har steget til 7.5 i MB10 og 6.9 i MB5 i slutten av hver sin måleperiode (Figur 3 og Tabell 4 & 5). Nøytralt til svakt basisk grunnvann er gunstig for bevaring av kulturlag gjenstander av metall og bein.



Figur 3. Konduktivitet (ledningsevne) (over) og pH (under) i grunnvann fra miljøbrønnene MB5 og MB10. Resultatene er sammenstilt med mm nedbør per dag fra Tønsberg (data fra www.yr.no).

Tabell 5. Max, min, median og gjennomsnittverdier av grunnvannsnivå, grunnvannets temperatur, pH, ledningsevne og redoksforhold beregnet i MB10 i de ulike årene 2013 til 2017.

MB10	2013 Grunnvann moh	2013 Temp °C	2013 pH	2013 Ledningsevne mScm -1	2013 Redox mV
Min	2.62	13.60	5.44	1.33	-293
Max	3.05	14.38	6.71	3.91	-112
Median	2.82	14.16	5.50	3.35	-229
Gj.Snitt	2.82	14.12	5.61	3.22	-235

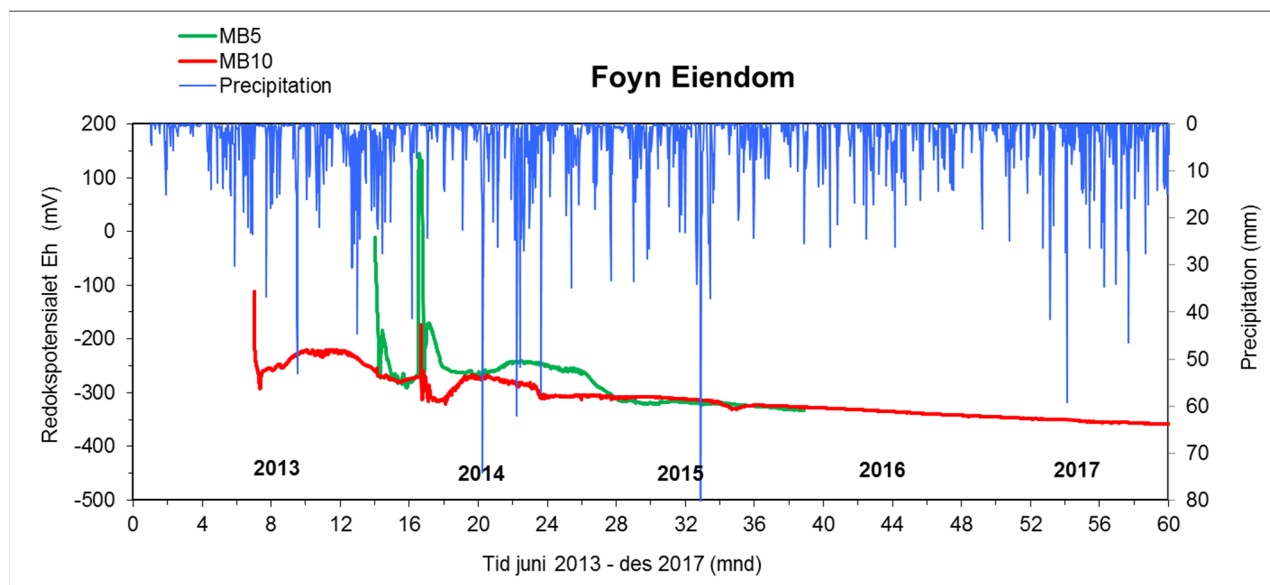
MB10	2014 Grunnvann moh	2014 Temp °C	2014 pH	2014 Ledningsevne mScm -1	2014 Redox mV
Min	2.76	14.08	5.77	0.47	-321
Max	3.26	14.45	8.58	3.96	-174
Median	2.90	14.19	6.73	3.30	-272
Gj.Snitt	2.93	14.26	6.69	3.30	-272

MB10	2015 Grunnvann moh	2015 Temp °C	2015 pH	2015 Ledningsevne mScm -1	2015 Redox mV
Min	2.63	13.78	7.29	2.81	-331
Max	3.24	14.44	7.75	3.05	-304
Median	2.94	13.94	7.50	2.89	-310
Gj.Snitt	2.93	13.99	7.51	2.89	-313

MB10	2016 Grunnvann moh	2016 Temp °C	2016 pH	2016 Ledningsevne mScm -1	2016 Redox mV
Min	2.73	13.41	7.75	2.73	-344
Max	3.09	13.81	7.96	2.84	-324
Median	2.88	13.52	7.87	2.78	-333
Gj.Snitt	2.89	13.56	7.86	2.78	-334

MB10	2017 Grunnvann moh	2017 Temp °C	2017 pH	2017 Ledningsevne mScm -1	2017 Redox mV
Min	2.60	13.38	7.39	2.62	-359
Max	3.21	13.77	7.67	3.86	-344
Median	2.90	13.58	7.50	2.72	-353
Gj.Snitt	2.90	13.58	7.50	2.92	-352

Redoks-sensorene i begge miljøbrønnene har vist verdier lavt ned på redoks-skalaen. I begynnelsen av måleperiodene svingte de målte redoks verdiene mellom (-170mV til -300mV) i både MB10 og MB5 (Figur 4). Mot slutten av 2015 og videre sank redoksverdiene til -350 mV. Redoks forholdene har ikke endret seg men stabilisert seg etter nytt bygg sto ferdig. Dette tyder på gode bevaringsforhold med grunnvann uten innhold av oksygen som kan skade organiske materiale i de ulike kulturlag under nytt bygg.



Figur 4. Redoksf forholdene i grunnvann fra miljøbrønnene MB5 og MB10. Resultatene er sammenstilt med mm nedbør per dag fra Tønsberg (data fra www.yr.no).

4 Konklusjoner

Miljøovervåkingen årene fra 2013 ut 2017 dokumenterer et tilfredsstillende grunnvannsnivå i MB10, sannsynligvis i god kontakt med kulturlagene under nytt bygg. Kulturlag i kontakt med grunnvannet vil ha fortsatt gode bevaringsforhold slik som påvist ved forundersøkelsen. I miljøbrønnen MB5 i måleperioden 2014 og 2015 har grunnvannet sunket ca. 1 m lavere. Om den er reell er noe usikkert siden brønnen var tettet av leire og måtte spyles i starten. Dette kan ha skjedd igjen og at det påvirker målingene ikke viser helt korrekte grunnvannsnivå.

Grunnvannets temperatur er forholdsvis lik i begge miljøbrønner målt til 14 og 15 °C, men er funnet 4 grader høyere sammenliknet med grunnvannstemperaturen i miljøbrønn som ikke er direkte påvirket av bygg målt til 10 °C i nærliggende tomt ved Nedre Langgate 43. Motsatt retning sør av Foyn eiendom har grunnvannet steget 13 til 14 °C påvirket av hus med kjeller. Dette indikerer at butikklokalet i nytt bygg påvirker temperaturen på grunnvannet under bygget. Hvor stor skade på kulturlagene denne temperatur økning kan utgjøre over tid er vanskelig å vurdere sikkert. Økt temperatur og oksygen øker nedbrytingen av organisk materiale. Målte redoksforhold indikerer imidlertid at det ikke tilføres oksygen i kulturlagene under nytt bygg.

Ledningsevnen er på samme nivå i begge brønner og har sunket og stabilisert seg på 2.8 mS cm⁻¹. pH varierte i starten før bygget var ferdigstilt, men har steget til det nøytrale området mellom pH 7 og 7.5, noe som er gunstig for bevaring av uorganiske gjenstander i kulturlagene.

Målingene i slutten av måleperiode har vist nå mer stabiliserende forhold etter at nytt bygg er ferdigstilt. Nytt bygg har ikke virket destabiliserende for de underliggende kulturlagene.

Referanser

- Bergersen, O. & Petersen, A. H. 2010. Storgaten 30-32, "City Shopping", Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke Bioforsk NIKU rapport Vol 5 (149) 2010.
- Bergersen, O. 2012. Miljøovervåking av kulturminner fra miljøbrønn på tomten Storgaten 30-32, City Shopping i Tønsberg. Bioforsk rapport Vol 7 (9) 2012.
- Bergersen, O. 2013. Miljøovervåking av kulturlag fra Middelalderen under bygging og etter at nybygg ved Nedre Langgate 41-43, Tønsberg. Sluttrapport. Bioforsk rapport 8 (19) 2013.
- Bergersen, O. 2014. Miljøovervåking av middelalder båt i fjernvarmegrøft ved Nedre Langgate 19, Tønsberg, Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. Sluttrapport. Bioforsk rapport 9 (40) 2014.
- Bergersen, O. 2015a. Forundersøkelse fra pælehull ved Storgaten 30-32, "Foyn eiendom", Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. Bioforsk rapport 10(45) 2015.
- Bergersen, O. 2015b. Miljøovervåking av miljøbrønn MB5 & MB10, "Foyn eiendom", Tønsberg kommune, Vestfold Fylke. Status rapport I for perioden 2013 - 2014. Bioforsk rapport Vol.10 (56) 2015.
- Bergersen, O. 2016. Overvåking av bevaringsforhold for kulturlag under "Foyn kjøpesenter" i Storgata 30-32 i Tønsberg. Statusrapport II for miljøbrønn MB5 & MB10 i perioden 2013-15. NIBIO rapport Vol.2 (65) 2016.
- 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. og Bergersen, O. 2016. In situ preservation in the unsaturated zone: Results from environmental investigations at the "Schultz gate" case study in the medieval town of Trondheim, Norway. *Conservation and Management of Archaeological Sites* 2016 Vol. 18 Nos 1-3, 2016, s 181-204.
- Riksantikvaren & NIKU 2008. *The Monitoring Manual. Procedures and Guidelines for Monitoring, Recording, and Preservation Management of Urban Archaeological Deposits.*
- Standard Norge 2009. Norwegian Standard 9451:2009. Cultural Property. Requirements for Environmental Monitoring and Investigation of Archaeological Deposits.
- Yr: http://www.yr.no/sted/Norge/Hordaland/Bergen/Bergen/detaljert_statistikk.html.

Vedlegg

Oversikt over vedlegg

Nr. Emne

- 1 Oversikt over bevaringsforhold i begge profiler fra jordprøver analysert før overvåking.
- 2 Kart over miljøbrønner på tomten
- 3 Illustrasjon av boreprofiler og etableringer av miljøbrønn 5 og 10

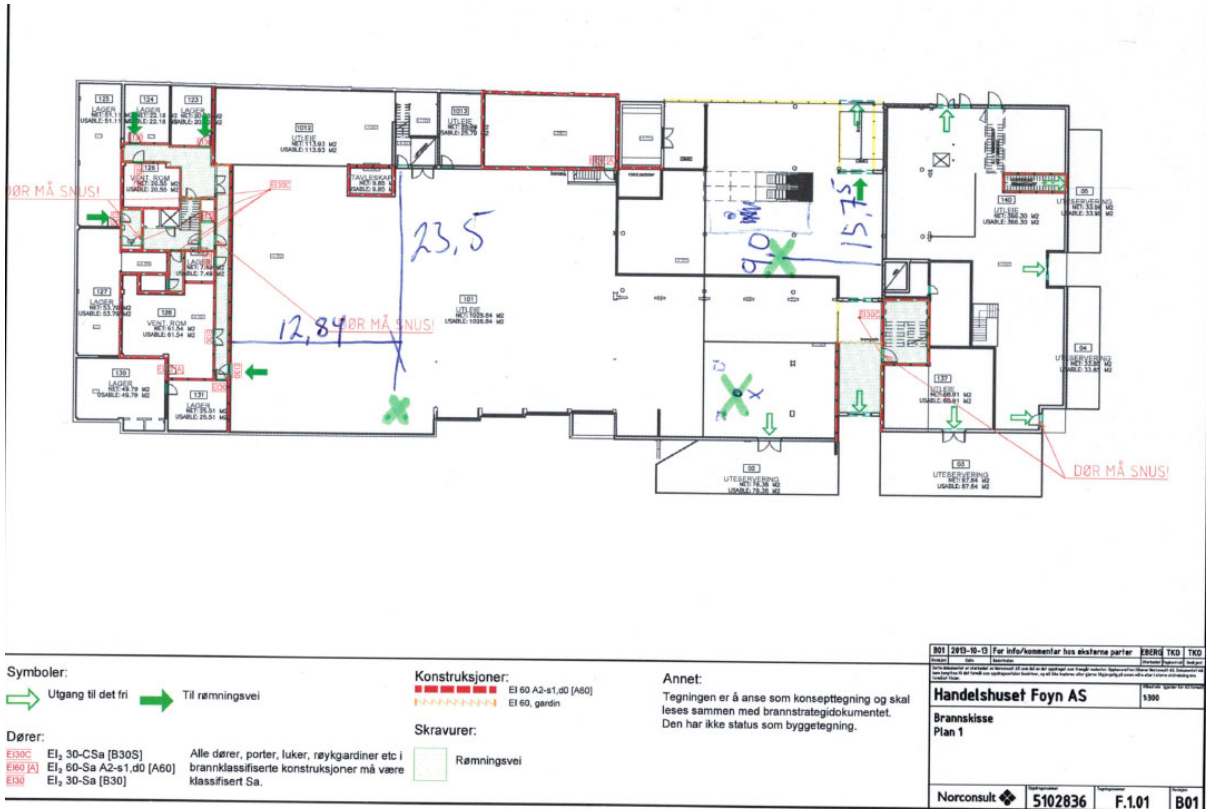
Vedlegg 1. Bevaringsforhold i miljøbrønnene MB5 og MB10

Oversikt over fysisk og kjemisk analyser utført på hele tomten Foyn eiendom som ligger til grunn for bevaringsforholdene av organisk og uorganisk materiale. Miljøbrønn 5 og 10 markert i tabellene. Dette er beskrevet i mer detalj i NIBIO rapport Vol 2 45 (Bergersen, et al. 2015a).

Borepkt. / lag	Dyp (m)	Dyp (moh)	Organisk innhold og vanninnhold	Surhet og salinitet	Redoksforhold	Bevaringsforhold
1B-2 lag 2	0.6	3.59	Middels org - og vanninnhold	Svakt surt og lav	Sulfatreduserende	Bra
2A-2 lag 2	0.8	3.50	Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og lav	Sulfatreduserende	Bra
2A-3 lag 3	1.5	2.75	Høyt org. - og vanninnh.	Svakt basisk og middels	Sulfatreduserende	Bra
3A-3 lag 3	1.8	2.48	Høyt org. - og vanninnh.	Svakt basisk og lav	Sulfatreduserende	Bra
4-3 lag 3	1.4	2.81	Høyt org. - og vanninnh.	Middels basisk og lav	Sulfatreduserende	Bra
4-4 lag 4	1.8	2.46	Middels org - og vanninnhold	Svakt basisk og lav	Sulfatreduserende	Bra
MB 5-3 lag 3	0.9	3.47	Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og lav	Oksiderende	Dårlig
MB 5-4 lag 4	1.7	2.67	Høyt org. - og vanninnh.	Svakt basisk og lav	Sulfatreduserende	Bra
6A-1 lag 1	0.6	3.69	Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og lav	Sulfatreduserende	Bra
7B-1 lag 1	0.6	3.68	Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og lav	Sulfatreduserende	Bra
7B-2 lag 2	0.9	3.38	Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og lav	Sulfatreduserende	Bra
8B-1 lag 1	0.9	3.45	Høyt org. - og vanninnh.	Svakt basisk og lav	Sulfatreduserende	Bra
9B-1 lag 1	1.4	2.78	Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og lav	Sulfatreduserende	Bra
MB 10-1 lag 1	0.6	3.65	Høyt org. - og vanninnh.	Nøytral og lav	Sulfatreduserende	Bra
MB 10-2 lag 2	0.9	3.35	Høyt org. - og vanninnh.	Svakt basisk og lav	Sulfatreduserende	Bra

Borepkt. / lag	Dyp (m)	Dyp (moh)	Nitrat - N (mg/kg TS)	Ammonium (mg/kg TS)	Sulfat (mg/kg TS)	Sulfid (mg/kg TS)	Jern (II) (mg/kg TS)	Jern (III) (mg/kg TS)	Andel av Jern (II)
1B-2 lag 2	0.6	3.59	< 0,73	23	889	57	101	1	99 %
2A-2 lag 2	0.8	3.50	< 1,7	275	1026	2	20	1	97 %
2A-3 lag 3	1.5	2.75	< 1,9	2119	3127	123	26	< 0,1	100 %
3A-3 lag 3	1.8	2.48	< 1,3	384	946	129	46	1	99 %
4-3 lag 3	1.4	2.81	< 2,0	1300	906	36	10	< 0,1	98 %
4-4 lag 4	1.8	2.46	< 0,8	425	1528	49	106	1	99 %
MB 5-3 lag 3	0.9	3.47	< 1,1	11	2661	1	12	39	24 %
MB 5-4 lag 4	1.7	2.67	< 1,9	686	1471	123	23	< 0,1	100 %
6A-1 lag 1	0.6	3.69	< 1,9	151	536	71	32	< 0,1	100 %
7B-1 lag 1	0.6	3.68	< 1,5	117	1494	42	34	< 0,1	100 %
7B-2 lag 2	0.9	3.38	< 1,8	240	1012	134	22	< 0,1	99 %
8B-1 lag 1	0.9	3.45	1,4	36	1745	36	38	3	93 %
9B-1 lag 1	1.4	2.78	2,9	234	1158	42	22	1	98 %
MB 10-1 lag 1	0.6	3.65	< 1,5	128	412	19	37	1	97 %
MB 10-2 lag 2	0.9	3.35	< 1,9	367	517	212	24	< 0,1	99 %

Vedlegg 2 Kart over miljøbrønner



X=MB6

X=MB 10

X=MB 5

Vedlegg 3 Boreprofiler og etableringer av miljøbrønn 5 og 10





Plassering av Miljøbrønn 5



Overvåkings logger i Miljøbrønn 5



Miljøbrønn 5 ble spylt og rengjort og senket ned i gulvet april 2014

Miljøbrønn 10

0-1m

1-2m





Plassering av Miljøbrønn 10 (forundersøkelsen 2010)



Overvåking Miljøbrønn 10 (start 2013)



Logger senket ned i gulvet i Miljøbrønn 10, april 2014

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.