

## Bioforsk Rapport

Vol. 7 Nr. 10 2012

# Miljøovervåking av kulturlag under og nær nybygg ved Nedre Langate 41-43, Tønsberg

Statusrapport etter 4 år

Ove Bergersen

Bioforsk - Jord og miljø



Hovedkontor  
Frederik A. Dahls vei 20,  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Fax: 63 00 92 10  
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø  
Frederik A. Dahls vei 20  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Faks: 63 00 94 10  
jord@bioforsk.no

<b>Tittel/Title:</b> Miljøovervåking av kulturlag under og nær nybygg ved Nedre Langate 41-43, Tønsberg.  Statusrapport etter 4 år			
<b>Forfatter(e)/Autor(s):</b> Ove Bergersen			
<b>Dato/Date:</b> 31.01.2012	<b>Tilgjengelighet/Availability:</b> Lukket	<b>Prosjekt nr./Project No.:</b> Bioforsk 2110177-05	<b>Arkiv nr./Archive No.:</b>
<b>Rapport nr./Report No.:</b> 7 (10) 2012	<b>ISBN-nr.:</b>	<b>Antall sider/Number of pages:</b> 20	<b>Antall vedlegg/Number of appendix:</b> 1
<b>Oppdragsgiver/Employer:</b> Riksantikvaren, Distriktskontor Tønsberg		<b>Kontaktperson/Contact person:</b> Jens Rytter	
<b>Stikkord/Keywords:</b> Redoksforhold, bevaring, kulturminner, Miljøovervåking, nedbrytning Redox conditions, preservation, remains, degradation		<b>Fagområde/Field of work:</b> Jordkvalitet Soil quality	
<b>Sammendrag</b> Rapporten oppsummerer erfaringer og informasjon om miljøovervåking under og etter at et nybygg er satt opp på og i nærheten av godt bevarte kulturlag fra Middelalderbyen Tønsberg. Nybygget har vært ved Nedre Langate 41-43. Miljøovervåking med sensorene i kulturlagene plassert i umettet sone rett inn for trapperom ned til garasjeområdet har gitt utfordringer måleteknisk. Resultatene fra overvåkingen viser ugunstig bevaringsforhold nært byggets kjellerrom. Grunnvannet har ikke forandret seg i løpet av 4 år og er ut fra kjemisk vurdering gunstig for å beskytte kulturlagene i dag, men også fremover i tid hvis ikke store inngrep og forandringer i grunnvannforholdene inntreffer. Resultatene fra denne miljøovervåkingen viser viktigheten av å kontrollere grunnvannet og dets egenskaper ved rike kulturlag fra Middelalderen.			
<b>Land/fylke:</b>	Norge, Vestfold		
<b>Kommune:</b>	Tønsberg		
<b>Sted/Lokalitet:</b>	Tønsberg- Nedre Langate 41-43		

Godkjent / Approved

Prosjektleder / Project leader

Trond Mæhlum  
forskningsjef

Ove Bergersen  
Seniorforsker

# Innhold

---

1.	Innledning .....	3
1.1	Bakgrunn .....	3
2.	Materiale og Metode .....	5
2.1	Naturvitenskapelige definisjoner .....	5
2.2	Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag .....	5
2.3	Feltarbeide og miljøovervåking .....	7
3.	Resultater og diskusjon .....	8
3.1	Miljøovervåking i umettet/mettet sone - profilvegg ved trapperom ned til kjeller .....	8
3.2	Miljøovervåking i mettet grunnvannssone .....	11
3.3	Vurdering av kulturlagenes bevaringsforhold etter miljø-overvåking i umettet / mettet grunnvannssone omkring et nybygg. ....	17
4.	Konklusjon .....	18
5.	Referanser .....	19
6.	Vedlegg .....	20

# 1. Innledning

---

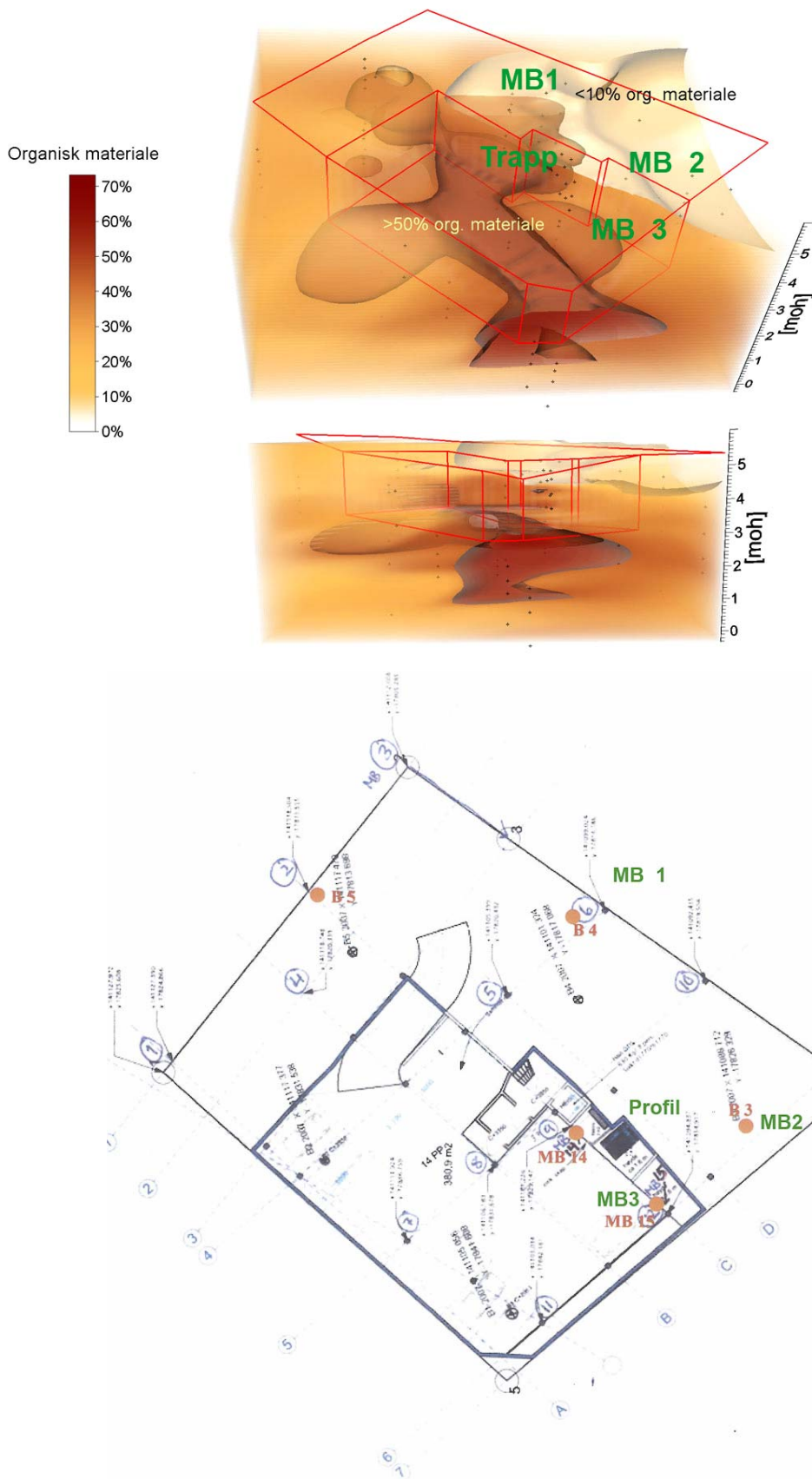
## 1.1 Bakgrunn

Rapporten oppsummerer miljøovervåking av kulturlag i tilknytning til nybygg ved Nedre Langate 41-43. Vedlegg 1 viser nytt bygg rett er ferdigstillelse. Overvåking av mettet sone og umettet sone har nu foregått i 4 år. Overvåking av kulturlag i mettet sone er gjennomført ved å måle fysiske og kjemiske parametere i grunnvann som samler seg opp i miljøbrønnene som er blitt installert på tomten.

Det er blitt installert overvåkingsutstyr i 3 brønner: Brønn 1 ved parkeringsplassen på utsiden av butikken, Brønn 2 inne i butikken og Brønn 3 i hjørnet i kjelleren ved garasjen (se figur 1).

I brønnene overvåkes temperatur, grunnvannstand, pH, saltinnhold (ledningsevne) og redoksforholdene som indikerer stabilitet og hvordan bevaringsforholdene er i kulturlagene under og ved siden av nybygget.

Ved trapperom ned til kjeller er det montert sensorer som overvåker temperatur, jordfuktighet og oksygeninnhold inne i umettet sone av kulturlagene. Disse målingene er et prøveprosjekt siden overvåking av oksygen i umettet sone er mer komplisert enn vi på forhånd viste. Alle målingene fra umetta sone medførte at sensorene sluttet å virke på ulike tidspunkt gjennom måleperioden på 4 år. Rapporten viser derfor ikke helhetlige data fra umetta sone.



**Figur 1**  
Oversikt over miljøbrønner og måleområder innen undersøkelsesområdet. Miljøbrønn 1 ligger ved B4, Miljøbrønn 2 ligger ved B3 og Miljøbrønn 3 ligger ved MB15 (under). Over vises en modell over tomtas kulturlag med gitt organisk mektighet og hvor miljøovervåking har skjedd i brønner og i trapperom.

## 2. Materiale og Metode

---

### 2.1 Naturvitenskapelige definisjoner

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

**Redoksreaksjoner:** Redoksreaksjoner består av to delreaksjoner, oksidasjon og reduksjon. Disse reaksjoner foregår vanligvis relativt langsomt, men i naturlige systemer fungerer mikroorganismer som katalysatorer slik at reaksjonene foregår mye raskere.

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

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

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

De beste bevaringsforholdene for kulturminner i jord har vi under anaerobe forhold med reduserte redoksforhold nærmere omtalt i kap. 2.2

### 2.2 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag

I rapporten beskrives bevaringsforholdene i kulturlagene ut i fra generell analyse: Grunnleggende parameter (S1) og miljøparameter (S2) i henhold til Norsk Standard (NS 9451:2009).

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 ( $\text{NO}_3^-$ ) og enda mindre ved å bruke treverdige jern,  $\text{Fe(III)}$ , fireverdige mangan ( $\text{Mn(IV)}$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) eller oksidert organisk materiale.

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 oksidering 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.

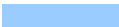

Oksidative og nitratreduserende forhold kan som regel karakteriseres som dårlige bevaringsforhold, mens sulfatreduserende og metanogene forhold kjennemerket bra til utmerket bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning.

I tabell 1 er det illustrert en enkel oversikt som viser generelt hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det orange markerte området vises nivåer av målte kjemiske parametere for typisk oksiderende forhold, mens reduserende forhold er vist med blått.

Redoksforhold i grunnen kan karakteriseres ved å måle redokssensitive komponenter i jord og porevann (oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid, metan): Høye oksygenkonsentrasjoner indikerer for eksempel at forholdene er oksidative og at mikroorganismene bruker oksygen til å bryte ned organisk materiale. Tabellen illustrerer også omtrentlige redoksverdier benyttet i overvåking av grunnvannet som beveger seg igjennom kulturlagene.

Tabell 1  
Konsentrasjonsnivåer for parametere fra S2 analysepakke som danner grunnlag for vurdering av bevaringsforhold.

Nitrat	Ammonium	Sulfid	Jern (II)	Jern (III)	Redoksforhold	Bevaring	Redoks
$\text{NO}_3$	$\text{NH}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$			mV
Lav	Lav	Lav	Lav	Høy	Oksiderende	Elendig	200
Høy	Lav	Lav	Lav	Høy	Nitrat til oksiderende	Dårlig	100
Høy	Lav	Lav	Høy	Lav	Nitrat til jernred.	Middels	0
Lav	Lav	Lav	Høy	Lav	Jernreduserende	Middels	-0,1
Høy	Høy	Høy	Medium	Lav	Nitrat til sulfatred.	Bra	-200
Lav	Høy	Høy	Medium	Lav	Sulfatreduserende	Bra	-350
Lav	Høy	Høy	Høy	Lav	Sulfatred. til metanogene	Utmerket	-400

 Reduserende forhold  
 Oksiderende forhold

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 jernreducerende, 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 gjennomstrømning 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 løslige salter medfører korrosjon av metalloverflater. Økende surhet og saltkonsentrasjon vil framskynde korrosjon av metallgjenstander og forvitring av bein.

### 2.3 Feltarbeide og miljøovervåking

Feltarbeid ble utført av Bioforsk Jord og Miljø (høsten 2008). Kontinuerlig overvåking av miljøforholdene i kultur- og sikringslag har foregått i 4 år ved hjelp av automatiske loggere fra SEBA Hydrometrie GmbH (Tyskland). Loggerne er utstyrt med GSM-modem for å muliggjøre nedlasting av overvåkingsdata via mobiltelefon. Overvåkingen har skjedd både i mettet sone nær grunnvannet og i umettet sone (sone over grunnvannstanden). Sensorer etablert i tre miljøbrønner har overvåket temperatur, grunnvannstand, pH, saltinnhold (ledningsevne) og redoksforholdene under og ved siden av bygget. I tillegg er det satt inn 9 sensorer hver som registrerer temperaturen, fuktighet og oksygen i umettet sone til kulturlagene ved trapp ned til kjelleren.

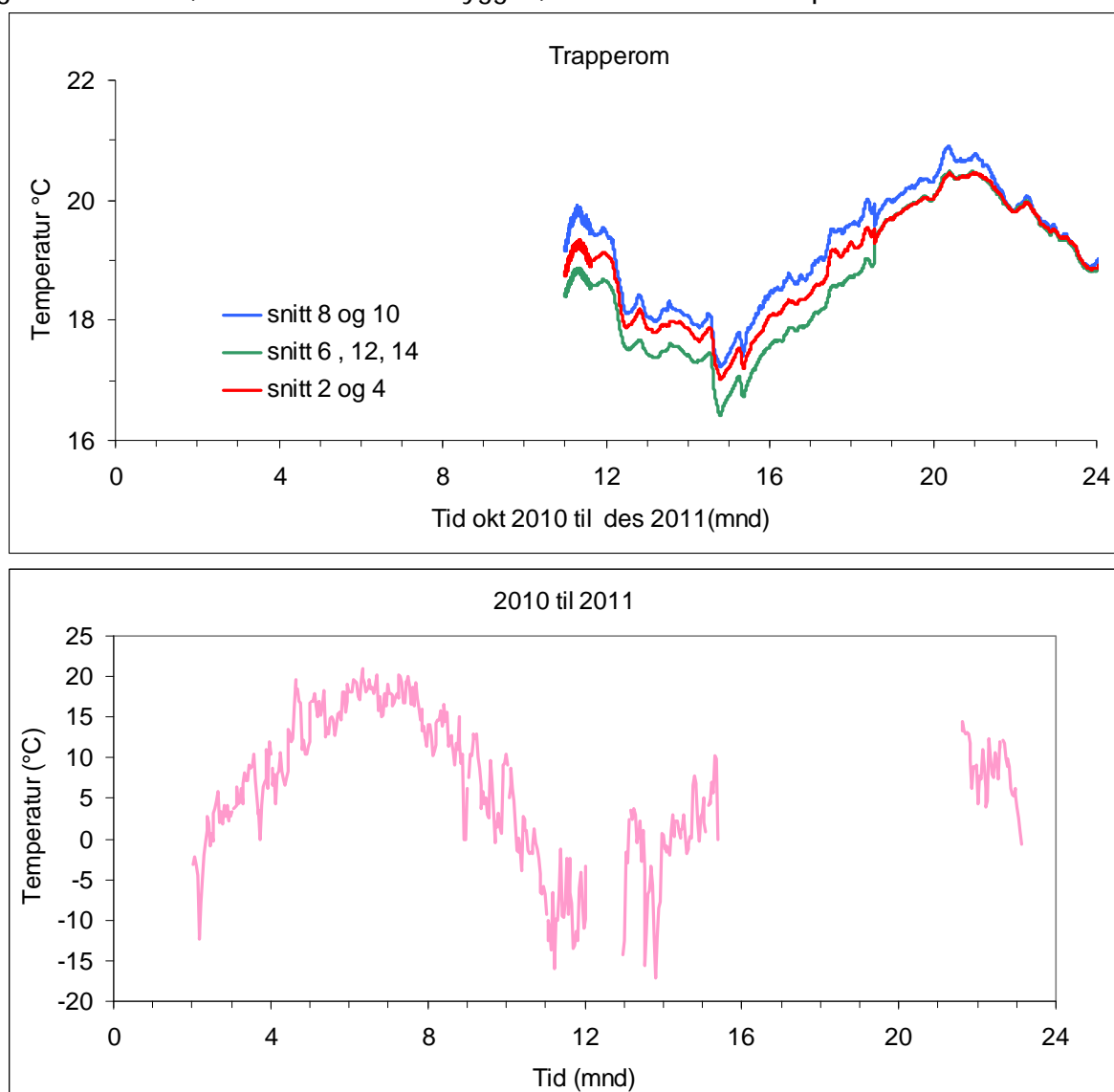
Sensorene i miljøbrønnene har gitt interessante data fra 2008 til 31.12 2011. Ved trapperom ned til kjelleren har det vært store problemer med strømtilførsel og skap med loggefunksjon som har vært ute av drift. I tillegg har sensorer sluttet å virke over tid pga vekslende fysiske forhold. Vi tror det skyldes store vekslinger i tørre og våtere perioder med mye regnvann. Temperaturmålingene har gitt resultater, mens fuktighet og oksygenmålingene har gitt varierende resultater. Vi har derfor få data fra umettet sone som ofte er mye mer utfordrende å overvåke. Resultatene er vist både som kurver og tabeller som viser min, maks og middelvei for de enkelt målte parametre.



## 3. Resultater og diskusjon

### 3.1 Miljøovervåking i umettet/mettet sone - profilvegg ved trapperom ned til kjeller

Overvåking av temperatur, oksygen og fuktighet i kulturlagene i vegg nær trapperom ned til kjeller, umettet sone er vist i figur 2, 3 og 4 og tabell 2. Målingene er registrert mellom 2 og 4 moh og er beregnet på snittverdier fra flere sensorer. Temperaturen varierer lite i umettet sone. Snittverdien registrert både sommer og i vinterperioden ligger på 18-19 °C selv om middel ute temperaturen svinger med årstidene fra -10-21 °C (figur 2) Sammenlignet med grunnvann temperaturene målt i miljøbrønnene figur 5 er de flere grader høyere. For eksempel vanntemperaturen registrert i MB 1, som står utenfor bygget, har en maks verdi på 11 °C.



*Figur 2*

*Viser kurver på temperatur fra sensorer satt inn for å overvåke kulturlag i umettet sone ved trapperom ned til kjeller ved nybygg Nedre Langate 41-43, Tønsberg (øverst)sammenstilt med middel luft temperaturi tønsberg i 2010 til 2011 (under).*

Det ser ut som om kulturlagene nær veggene på bygget registrert i trapperom ned til kjeller påvirkes mer av varmen fra bygget enn temperaturen i grunnvannet som omgir kulturlagene under og ved bygget. Til sammenligning viser miljøovervåking i gårdshaug upåvirket av hus (Åkergård på Hamar) betydelig større svingninger i temperatur sommer og vinter 1,20 m under overflaten. Her er det vist 2-3 °C om vinteren og 20 °C om sommeren registrert i umettet sone (Martens, et. al. 2008).

Oksygen innholdet viser forholdsvis lave verdier selv om de varierer noe fra sensor til sensor (figur 2 og tabell 2). I en forundersøkelse (Bergersen, 2008) og (Bergersen, et. al. 2008) ble det vist at det var oksiderende forhold fra 4-5 moh.

*Tabell 2*

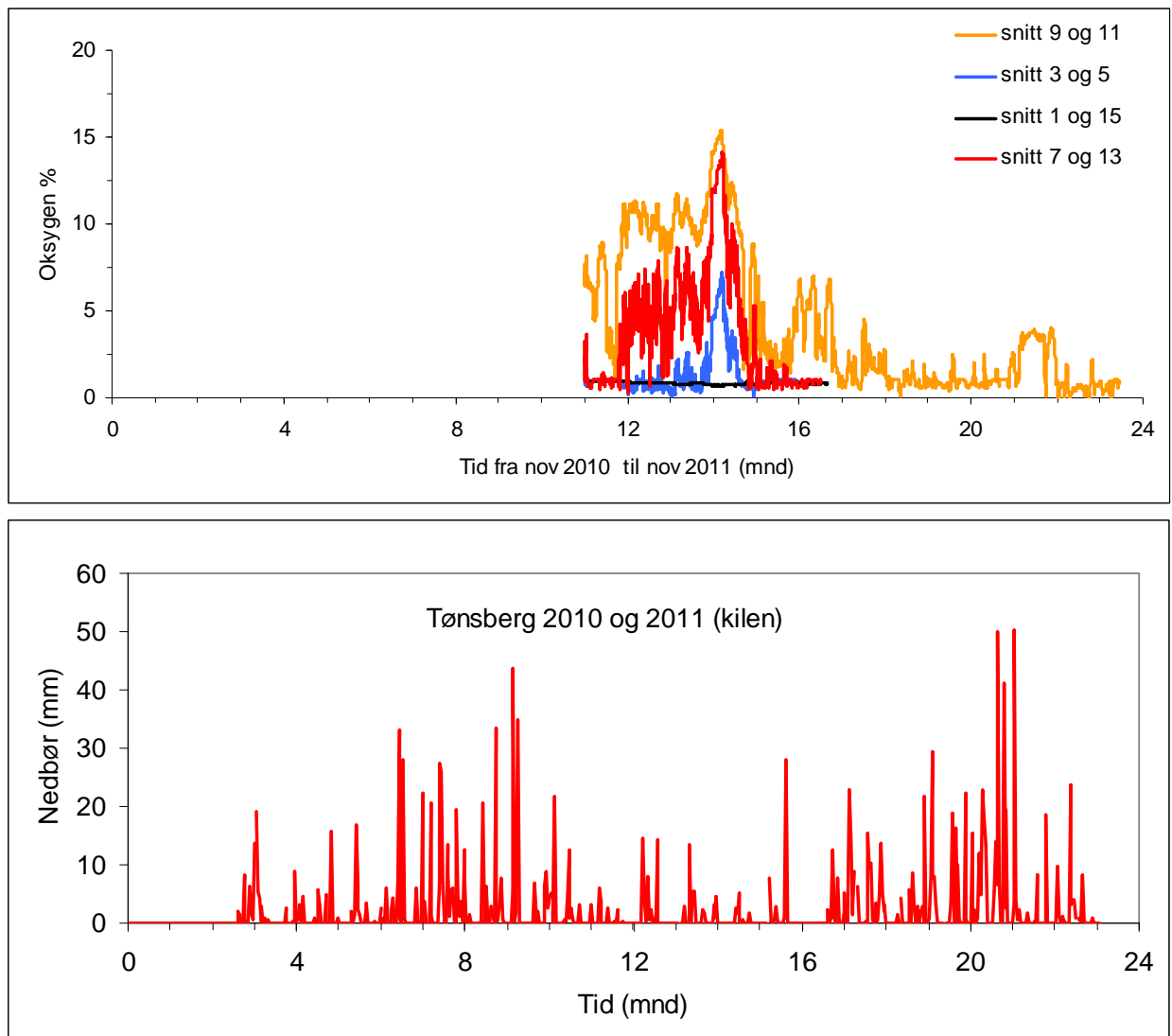
*Viser minimum, maksimum og gjennomsnittverdier på temperatur °C (øverst), oksygen (midten) og fuktighet (nederst) fra sensorer satt inn for å overvåke kulturlag i umettet sone ved trapperom ned til kjeller ved nybygg Nedre Langate 41-43, Tønsberg. Målingene er fra okt 2010 og ut 2011*

Temperatur	snitt 2 og 4	snitt 6 , 12, 14	snitt 8 og 10
Min	16,8	16,3	16,8
Max	20,9	20,2	21,3
Snitt	19,0	18,6	19,4

Sensor	snitt 1 og 15	snitt 3 og 5	snitt 7 og 13	snitt 9 og 11
Oksygen	%	%	%	%
Min	0,65	0,11	0,34	0,03
Max	1,06	7,20	14,14	15,38
Snitt	0,95	1,16	2,21	4,25

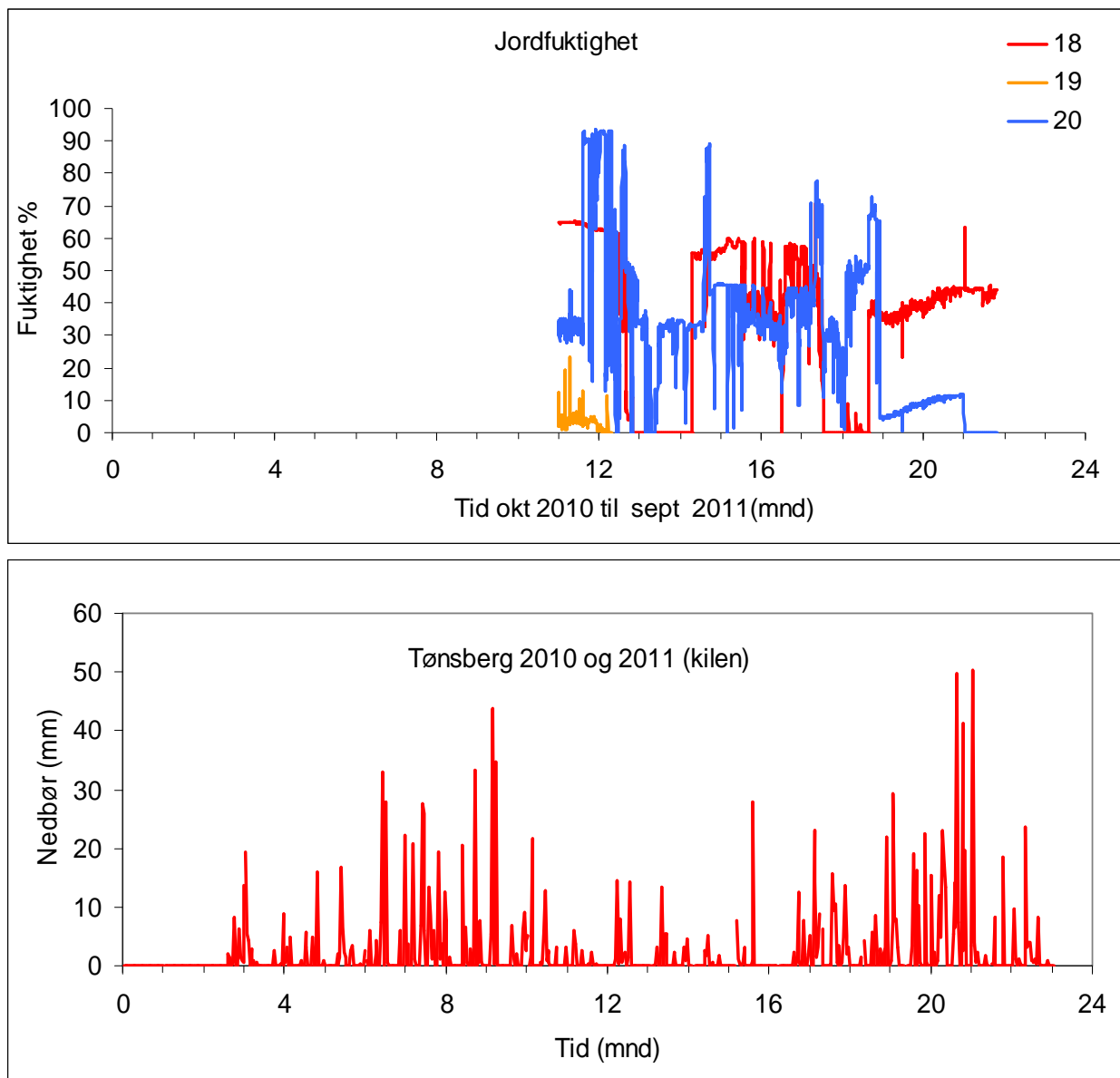
Fuktighet	UNL00218	UNL00218	UNL00218
Sensor	18	19	20
Moister	%	%	%
Min	0	0,2	0
Max	70,7	23,2	93,0
Snitt	42,3	3,6	32,1

Under 4 moh og nedover til 2 moh, var det opprinnelig reduserende forhold som er gunstig for kulturlagene. Uten å være helt sikker ser det ut som ytterkanten av kulturlagene nært nybyggets trapperom ned til kjeller har fått forandring i temperatur, fuktighet og oksygeninnhold. Disse forandringer kan forandre de påviste gode bevaringsforhold som ble registrert i forundersøkelsen fra 2008 (Bergersen, et. al. 2008). I løpet av sommeren 2011 kan det se ut som om % oksygen har sunket i flere av sensorene (figur 3). En mulig forklaring er at profilveggen nær huset har blitt tilført mer vann. Denne hypotese styrkes i økt fuktighet i måleområdet (figur 4). Dessverre kan det se ut som om flere av sensorene har sluttet å virke etter mye nedbør. I des. 2011 var det stort sett temperatur sensorene som ga pålitelige resultater.



**Figur 3**

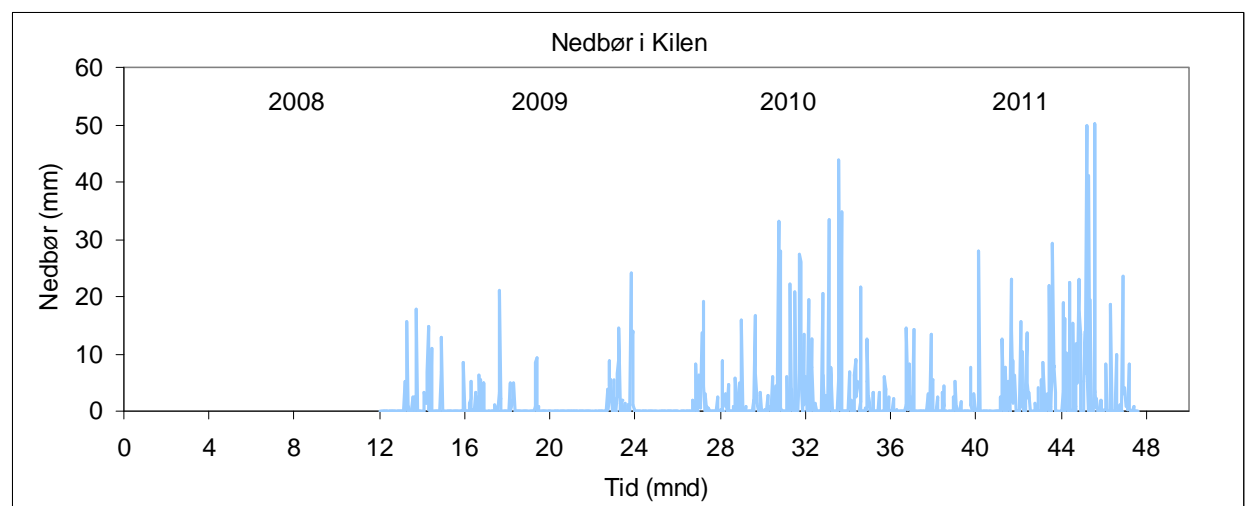
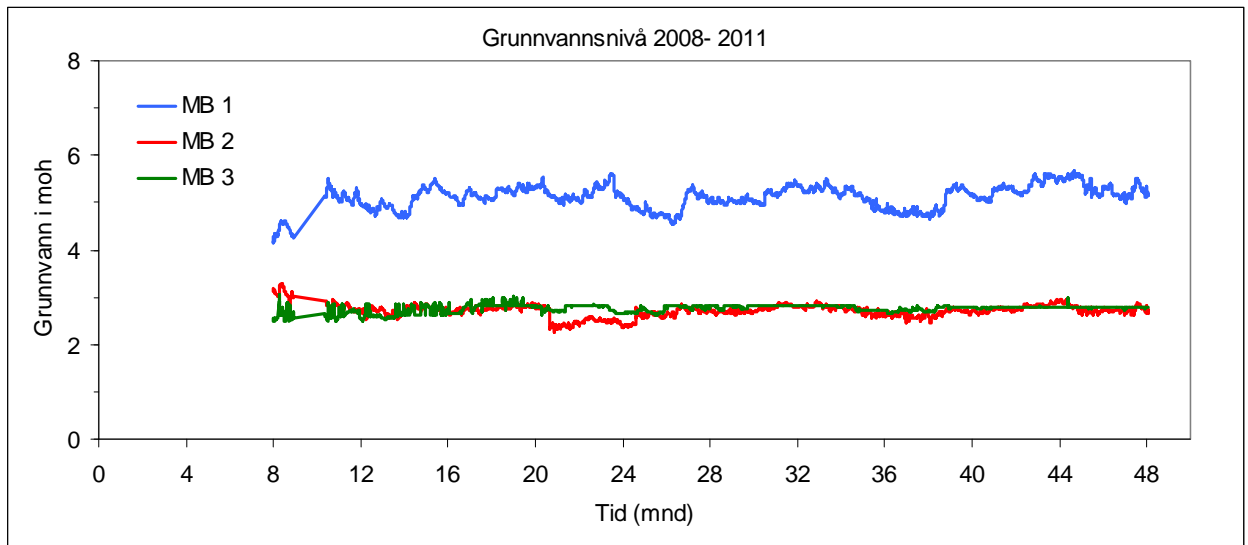
Viser kurver på gjennomsnittsverdier av oksygen (over) fra ulike sensorer satt inn for å overvåke kulturlag i umettet sone ved trapperom ned til kjeller ved nybygg Nedre Langate 41-43, Tønsberg, sammenstilt med gjennomsnittlig nedbør i Tønsberg ved Kilen (under). Oksygensensorene 3 og 5, 1 og 15, 7 og 13 sluttet å vise pålitelige verdier juli 2011.



*Figur 4*  
 Viser kurver på 3 jordfuktighetsensorer av 10 mulige satt inn for å overvåke kulturlag i umettet sone ved trapperom ned til kjeller ved nybygg Nedre Langate 41-43 Tønsberg (over), sammenstilt med gjennomsnittlig nedbør. Fuktighetsensorene sluttet å gi pålitelige verdier i nov 2011.

### 3.2 Miljøovervåking i mettet grunnvannssone

Nybygget ved Nedre Langate 41-43 er overvåket for å se hvordan grunnvannspeilet har oppført seg under og etter at nybygg er satt opp. I tillegg ble temperatur, pH, saltinnhold (ledningsevne) og reduserende forhold overvåket i grunnvannet. Grunnvannstanden har vist stabile forhold i hele måleperioden (figur 5). Under figur 5 er det satt opp en oversikt over middelverdi, laveste og høyeste vannstand alle i meter over havet. I miljøbrønn 1 (MB1) lå grunnvannstanden på 5,1 moh med topp pkt. på 5,67 moh. I miljøbrønn 2 (MB2) lå grunnvannet på 2,71 moh hvor topp pkt. var 3,29 moh.

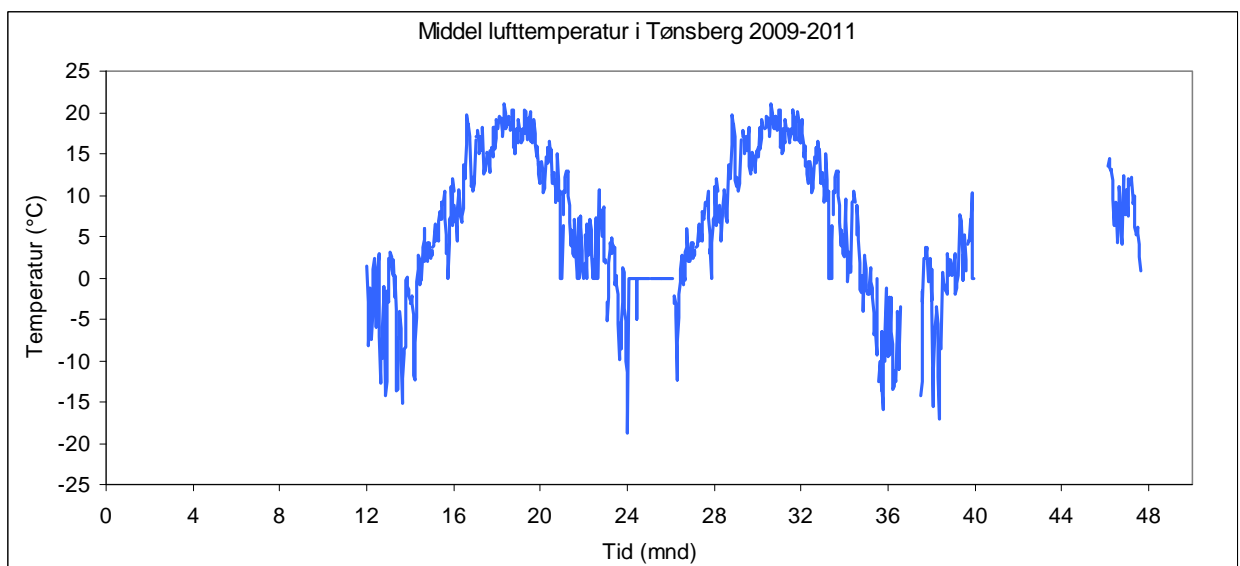
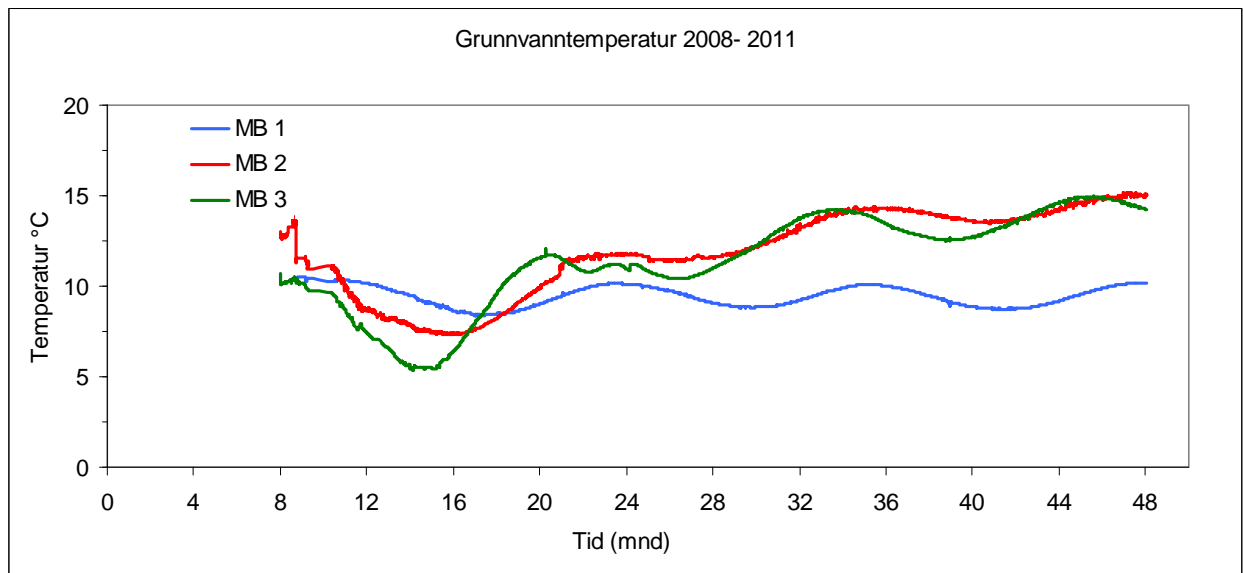


MB	MB 1 moh	MB 2 moh	MB 3 moh
Min	<b>4,14</b>	<b>2,27</b>	<b>2,48</b>
Max	<b>5,67</b>	<b>3,29</b>	<b>3,04</b>
Snitt	<b>5,12</b>	<b>2,71</b>	<b>2,76</b>

Figur 5  
Grunnvannstand i miljøbrønn 1, 2 og 3 fra aug. 2008 til des. 2011 sammenstilt med nedbørsdata fra Tønsberg. Minimum, maksimum og gjennomsnittverdier er vist under.

I den siste miljøbrønnen (MB3) viste overvåkingen et grunnvannspeil på 2,76 moh hvor topp pkt lå på 3,04 moh. Forundersøkelsen utført i 2008 viste meget til godt bevarte kulturlag i 4-2 moh. Grunnvannspeilet registrert i MB 2 og 3 var stabilt, mens svingninger ble registrert i MB 1, som er plassert høyere oppe og utendørs under asfaltdekke. Sistnevnte brønn ser ut til å være påvirket mer av nedbør. I perioder med mye nedbør stiger vannstanden fra 5,0 til 5,6 moh. (figur 5). Allikevel ser det ut som om grunnvannet holder seg høyt i kulturlagene på utsiden av bygget. Det er gunstig for bevaringen av de rike kulturlagene fra Middelalderen.

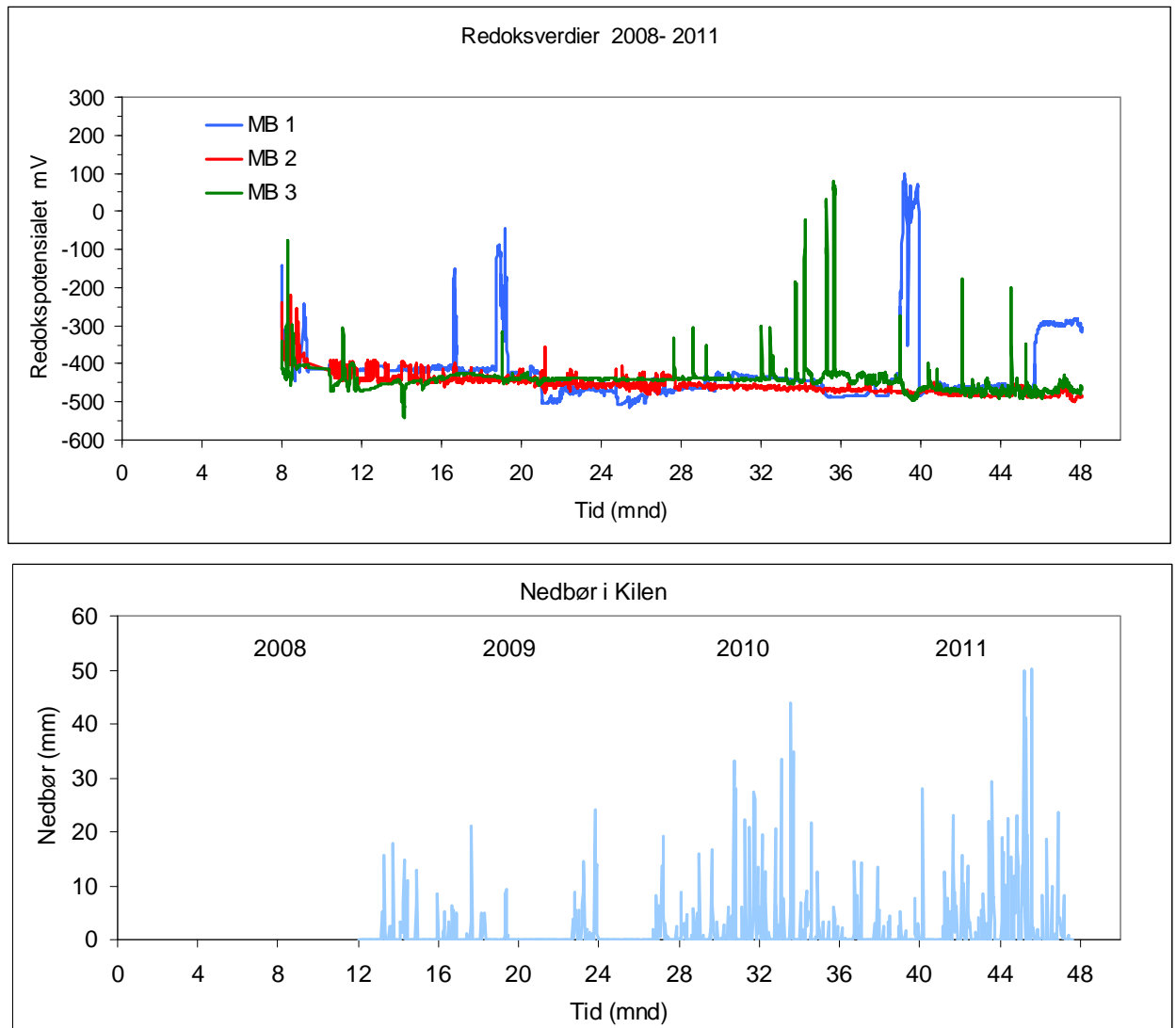
Temperaturvariasjonen i figur 6 viser noe mer forandringer over tid. Gjennomsnittstemperaturen er noe forskjellig fra brønn til brønn i hele måleperioden. Grunnvannstemperaturen svinger med utetemperaturen og er mest stabil i MB1 plassert på utsiden av bygget. De to andre har stabilisert seg over tid, men viser noe stigende temperatur påvirket av temperaturen fra kjeller og garasje. Snitttemperaturen i grunnvannet fra MB 2 og 3 inne i kjeller og butikken på 11,5- 11,9 °C er blitt målt og beregnet 2-3 grader høyere enn i MB 1 på utsiden. Grunnvannstemperaturen i MB 1 hadde et gjennomsnitt på 9,4 °C og maks temperatur på 10,7 °C som viste mest stabilitet.



	<b>MB 1</b> temp °C	<b>MB 2</b> temp °C	<b>MB 3</b> temp °C
Min	<b>8,38</b>	<b>7,32</b>	<b>5,38</b>
Max	<b>10,73</b>	<b>15,21</b>	<b>14,98</b>
Snitt	<b>9,44</b>	<b>11,90</b>	<b>11,47</b>

*Figur 6*  
*Vanntemperatur i miljøbrønn 1, 2 og 3 fra aug. 2008 til des. 2011 sammenstilt med*  
*middeltemperatur ute i Tønsberg. Minimum, maksimum og gjennomsnittverdier er vist*  
*under.*

For å kunne vurdere hvordan bevaringsforholdene er i grunnvannbrønnene er redokspotensialet blitt målt i alle tre grunnvannbrønnene. Resultatet er vist i figur 7. Redokspotensialet gir indikasjon om oksygen i grunnvannet siver inn i miljøbrønn. Hvis tilfelle kan slike observasjoner kunne påvirket bevaringsforholdene i de nærliggende kulturlag nær og under nybygget. Alle brønnene viser stabile lave redoksforhold beregnet ut fra gjennomsnittverdi på -420 til -450mV. Disse verdier har indikert at grunnvannet som siver i de rike kulturlagene omkring bygget ikke inneholder faretruende mengder oksygen. Lave redoksverdier informerer oss om at de gode bevaringsforholdene påvist i 2008 er opprettholdt. Grunnvannet i MB 2 ble registrert med lavest redoksverdi. I sistnevnte brønn ble det også registrert noe mer stabile forhold målt i kontinuerlig lave og negative redoksverdier (figur 7).



REDOKS	MB 1 mV	MB 2 mV	MB 3 mV
Min	-514	-500	-540
Max	98	-219	78
Snitt	-424	-454	-443

Figur 7  
Redokspotensialet i grunnvannet som siver inn i miljøbrønn 1, 2 og 3 fra aug. 2008 til des. 2011 sammenstilt med nedbørsdata fra Tønsberg. Minimum, maksimum og gjennomsnittverdier er vist under.

Grunnvannet i MB 3 og MB 1 viste noe mer svingninger mot slutten av måleperioden. Disse svingninger ser ut til å være påvirket av større nedbørsrike perioder, men som hadde kort varighet. Det kan se ut som om oksygenrikt regnvann har påvirket brønnene på venstre side av bygget mer enn brønnen under byggets garasjeanlegg. De små svingninger vil ikke påvirke kulturlagenes bevaringsforhold.

Overvåking av elektrisk ledningsevne (saltinnholdet) i grunnvannet fra miljøbrønnene viser også stabile forhold spesielt i MB 1 og 3 selv om innholdet av salter varierte i gjennomsnitt mellom 0,9 til 2,3 mS/cm (figur 8, tabell 3). MB1 viste lavest snittverdi på 0,9 mS/cm, MB2 på 1,5mS/cm og MB3 på 2,3mS/cm. De to sistnevnte viser at grunnvannet påvirkes nærmere sjøen. Saltinnholdet svingte mest i miljøbrønn 2 (figur 8).

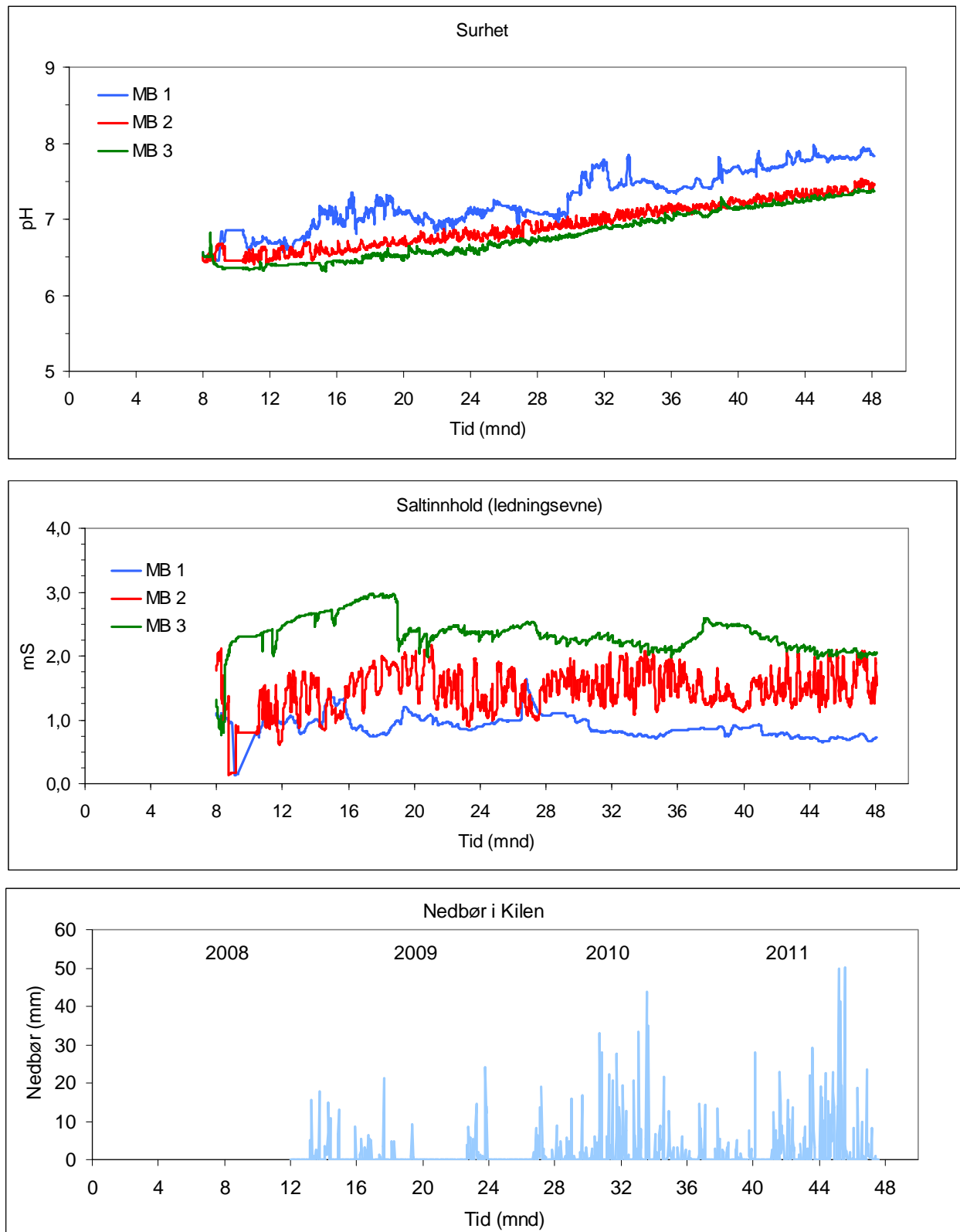
Alle miljøbrønnene viste stabil pH nært nøytralt området i alkalitet fra pH 6,8-7,3 i gjennomsnittverdi (figur 8, tabell 3). Kurvene viser en svak stigning fra starten av overvåkingen og til i dag. Denne stigning kan være vandring i elektrodene, men de er kalibrert vært år. Teoretisk skulle MB 2 og 3 hatt noe høyere verdi siden begge brønner står dypere og er nærmere eventuell påvirkning av sjøvann. MB1 på utsiden og ved høyere kote (5 moh) er den som har svingt mest og som ser ut til å ha vært mest påvirket av bevegelse i grunnvannet som siger sakte nedover i kulturlagene langs nybygget. Svingningen går i positiv retning fra nøytral og opp til pH 7,8 og ikke motsatt. Lavere pH verdi som indikere et surere miljø kan antyde at grunnvannet er blitt tilført organiske syrer fra evt. mulig nedbryting av organisk materiale i kulturlagene omkring miljøbrønn 1.

*Tabell 3 Minimum, maksimum og gjennomsnittverdier av pH (over) og elektrisk ledningsevne (under) i alle 3 miljøbrønnene fra 2008 til 2011.*

pH	MB 1	MB 2	MB 3
Min	6,5	6,4	6,3
Max	8,0	7,5	7,4
Snitt	7,3	6,9	6,8

Ledningsevne	MB 1	MB 2	MB 3
	mS/cm	mS/cm	mS/cm
Min	0,13	0,12	0,76
Max	1,64	2,18	2,98
Snitt	0,90	1,48	2,34





Figur 8  
 pH og elektrisk ledningsevne (mS/cm) i miljøbrønn 1, 2 og 3 fra aug. 2008 til des. 2011 sammenstilt med nedbørsdata fra Tønsberg.

### 3.3 Vurdering av kulturlagenes bevaringsforhold etter miljøovervåking i umettet / mettet grunnvannssone omkring et nybygg.

Sensorene i kulturlagene plassert i profilvegg i umettet sone rett inn for trapperom ned til garasjeområdet fra 4 og ned til 2 moh. har ikke gitt stabile resultater. Av i alt bortimot 30 sensorer er det nå etter 4 års tid overvåking kun få som har virket i mesteparten av overvåkingstiden.

Temperaturmålingene har gitt bra resultat, mens fuktighet og oksygen målingene har gitt uttrykke målinger. Overvåkingen har gitt nyttig informasjon og erfaringer.

Temperaturmålingene nær huset har vist høyere verdier sammenlignet med grunnvannstemperaturen målt i miljøbrønnene under og ved siden av bygget. Dette viser at varme fra kjeller og garasje anlegg kan gi noe temperaturøkning i kulturlagene nært inntil hus med kjeller. Økt temperatur kan øke graden av nedbryting hvis oksygen kommer til i kulturlagene. Hvor langt fra husets kjellervegger temperaturen avtar er usikkert. Grunnvannet i miljøbrønn 1 på utsiden og i ca 11 meters avstand fra bygget viser lavere og stabil temperatur. Økning i grunnvannstemperatur på 2-3 °C under nybygget ble påvist i miljøbrønnene 2 og 3 etter at overvåkingen har startet.

Data fra umettet sone som registrerte fuktighet og oksygen i porene til kulturlagene viste at økt nedbør og høyere fuktighet i kulturlagene viste reduksjon i oksygeninnhold. Dette er gunstig for bevaring av kulturlagene. Redoks målingen i grunnvannet omkring nybygget har vist meget til gode betingelser for bevaring av kulturlag under bygget og på utsiden.

Grunnvannspeilet i de tre miljøbrønnene har også vist stabile forhold hele perioden. En liten fluktuasjon i grunnvannet på 0,8m i MB 1 er blitt påvist p.g.a. nedbørsrikt klima i måleperioden. MB 1 viste gjennomsnittlig vannstand på ca 5 moh., MB 2 viste 2,7 moh.; mens MB3 viste vannstand på 2,8 moh. Nytt bygg har ikke forandret og påvirket grunnvannet. Dette tyder på at forholdene ligger til rette for god bevaring av de uberørte kulturlagene i nærheten og ved nybygget.

## 4. Konklusjon

---

Bioforsk har overvåket kulturlagene på tomta Nedre Langate 41-43 i perioden 2008-20011.

- Miljøovervåking med sensorene i kulturlagene plassert i umettet sone rett inn for trapperom ned til garasjeområdet har gitt utfordringer måleteknisk. Av i alt nesten 30 sensorer er det etter 4 års tid overvåking, kun få som virket mesteparten av tiden.
- Temperaturmålingene har gitt best resultat, mens registrering av fuktighet og oksygen har gitt indikasjoner på forandringer p.g.a. nedbør.
- Selv med tekniske problemer på utstyret, viser overvåking at kulturlagene i umettet sone inn mot nybyggets trappeoppgang ikke har optimale bevaringsforhold. Hvor langt inn i kulturlagene disse ikke optimale forhold går er uklart.
- Temperaturen er registrert 7-8 grader høyere sammenlignet med grunnvanntemperaturen målt under og ved siden av bygget i miljøbrønnene.
- Målinger av fuktighet og oksygentilgang fra 4 og ned til 2 moh. varierer i profilen som er overvåket. I praksis tror vi at det er ikke lett å måle optimale forhold i umettede soner nært et nybygg med ulike krav til drenering.
- Overvåkingen har vist en svak temperaturstigning i grunnvannet under nybygg, oksygenfritt grunnvann som gir beskyttende egenskaper i kulturlagene.
- Nytt bygg har ikke forandret og påvirket grunnvannets nivå og sammensetning i saltinnhold. Dette tyder på at forholdene ligger til rette for god bevaring av kulturlagene i nærheten av bygget.

## 5. Referanser

---

Bergersen, O. 2008. Bevaringsforhold i kulturlag ved Nedre Langgate 41-43, Tønsberg. Jordfaglig vurdering av miljøforhold på bakgrunn av laboratorieanalyser. Bioforsk Rapport 3 (6). 16 s.

Bergersen, O., Bloem, E., Hartnik, T. & Petersen, A. H. 2008. Vurdering av bevaringstilstand og forhold i kulturlag i mettet/umettet sone ved Nedre Langgate 43, Tønsberg - Arkeologisk, jordfaglig og geofysisk analyse. Bioforsk NIKU rapport Vol 3 (175) 52.

Martens, V. et. al 2008. Forprosjekt 2, miljøovervåking Åker gård gnr. 7/bnr. 201. Hamar, Hedemark. NIKU nr 60 og Bioforsk rapport Vol 3 (139) 2008.

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

## 6. Vedlegg

---

### Vedlegg 1

Foto av nybygg i Nedre Langate 41-43 under etablering

