

**BEVARINGSRAPPORT: FOYNKVARTALET,
TØNSBERG
RESULTATER PR. 1. SEPT. 2020**

Tønsberg

Liv B. Henninge og Stein B. Olsen (COWI AS)





Tittel Bevaringsrapport Tønsberg	Rapporttype/nummer NIKU Rapport 105	Publiseringsdato 19.11.2020
	Prosjektnummer 1021240	Oppdragstidspunkt Jan. 2019 – okt.2020
	Forsidebilde Arbeidsbilde, S. Halvorsen. Cf53518_NIKU_0081.JPG	
Forfatter(e) Liv B. Henninge og Stein B. Olsen (COWI AS)	Sider 32	Tilgjengelighet Åpen
	Avdeling Arkeologi	

Prosjektleder Sunniva Wilberg Halvorsen
Prosjektmedarbeider(e) Vibeke Vanderup Martens
Kvalitetssikrer Vibeke Vandrup Martens

Oppdragsgiver(e) Folksom AS

<p>Sammendrag</p> <p>Første årlige rapportering av resultater fra miljøbrønner etablert for overvåkning av kulturlagene på Foynkvartalet, Tønsberg. Miljøbrønnene ble aktivert i januar 2019. Innværende rapport dekker perioden januar 2019 til og med oktober 2020.</p>

<p>Emneord</p> <p>Miljøovervåkning/MOV, miljøbrønner, jordkjemi, grunnvann, Foynkvartalet, middelalderby, Tønsberg, kulturlag</p>

Avdelingsleder

Lise-Marie Bye Johansen

Definisjoner

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

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	7
1.1	Analyseparametere kulturlag	7
1.2	Beskrivelse bevaringsforhold	7
2	Teknisk installasjonsbeskrivelse (Cautus).....	10
3	Geokjemiske analyseresultater	16
3.1	Prøvetaking og prøvebeskrivelse	16
3.2	Analyseresultater jordprøver	17
3.3	Vurdering av analyseresultatene.....	18
4	Vurdering basert på sensordata pr 1. september 2020	18
4.1	Borepunkt 2	19
4.2	Borepunkt 4	19
4.3	Borepunkt 6	19
4.4	Borepunkt 8	20
5	Bevaringsvurdering.....	20
6	Referanser	22
	Vedlegg 1. Sensordata pr 1. september 2020	23
	Temperatur miljøbrønn 2	23
	Temperatur miljøbrønn 4	23
	Temperatur miljøbrønn 6	24
	Temperatur Miljøbrønn 8	24
	Ledningsevne og pH miljøbrønn 2	25
	Ledningsevne og pH miljøbrønn 4	25
	Ledningsevne og pH miljøbrønn 6	26
	Ledningsevne og pH miljøbrønn 8	26
	Vannstand miljøbrønn 2	27
	Vannstand miljøbrønn 4	27
	Vannstand miljøbrønn 6	28
	Vannstand miljøbrønn 8	28
	O ₂ og redokspotensiale miljøbrønn 2	29
	O ₂ og redokspotensiale miljøbrønn 4	29
	O ₂ og redokspotensiale miljøbrønn 6	30
	O ₂ og redokspotensiale miljøbrønn 8	30

1 Bakgrunn

COWI AS og Cautus Geo AS har fått oppdrag fra Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU) til å gjennomføre overvåking av kulturlag i de store middelalderbyene i Norge (Bergen, Trondheim og Tønsberg). Overvåkingen innebærer prøvetaking av jord og grunnvann fra miljøbrønner og miljøprofiler og tolkning av resultatene.

Denne rapporten presenterer analytiske resultater fra boresøyler (kjerneprøver) tatt fra miljøbrønner i Foynkvartalet i Tønsberg samt sensordata fra oppstart og til 1. september 2020. Det er også presentert en vurdering av bevaringsforhold for organiske og uorganiske material basert på resultatene samt om det har skjedd noen endringer det siste året, dvs. fra forrige rapportering.

1.1 Analyseparametere kulturlag

Analyseparametere for miljøovervåking av kulturlag beskrives i NS9451:2009. Parametere er delt inne i grunnleggende parametere (S1) og miljøparametere (S2). Parametere i S1 og S2 beskrives i Tabell 1.

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

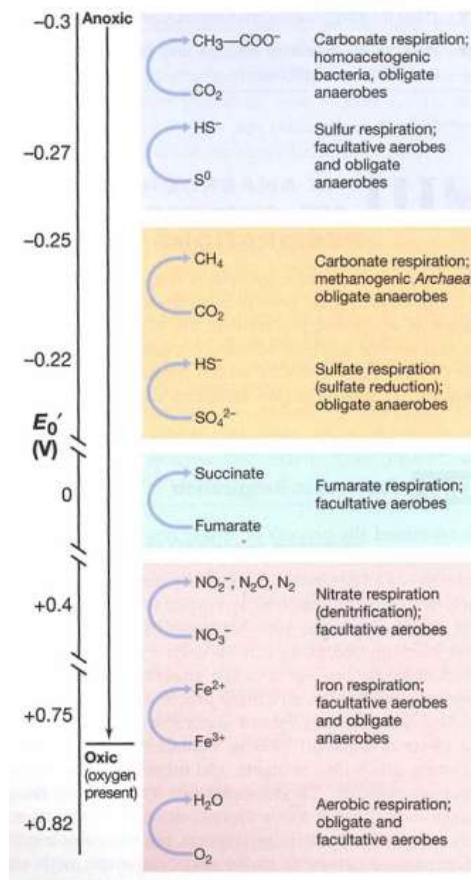
S1	S2
Tørrstoffinnhold (TS)	Matrikspotensiale (pF)
Glødetap	Porøsitet
pH	Sulfat
Ledningsevne / klorid	Sulfid
	Jern (II)
	Jern (III)
	Ammonium (ekstraherbart)
	Nitrat

Innsamlet data brukes til å vurdere bevaringsforhold av kulturlagene. Dette baseres hovedsakelig på inntrenging av oksygen som påvirker redoksforholdet i jorden (som % O₂ eller som redoks). I tillegg overvåkes / analyseres fuktighet og en del andre kjemiske parametere (pH og ledningsevne) for å se hvordan grunnvann kan påvirke kulturlaget.

1.2 Beskrivelse bevaringsforhold

Bevaringsforhold er beskrevet etter to nevnte sett med grunnleggende miljøparametere (S1 og S2, Norsk Standard 9451:2009). Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemiske og fysiske forhold. Dette fører til at naturlige gradienter (f.eks. hydrauliske gradienter eller konsentrasjonsgradienter), som ofte holder naturlige kjemiske prosesser i gang, avtar. Dette medfører langsommere nedbrytning av kulturlag og mindre mikrobiell aktivitet.

I naturen foregår nedbrytning av organisk materiale og korrosjon av metaller parallelt med andre prosesser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner. Avhengig av redoksforhold i jordtypen, vil forskjellige typer mikrobielle reaksjoner dominere. Dette vises i Figur 1.



Figur 1. Oppsummering av redoksforhold for mikrobiologiske prosesser. Denne figuren viser at stabile negative redoksforhold (anoksisk forhold) gir de beste bevaringsforhold for kulturlag (Madigan og Martinko, 2006).

Det er viktig å forstå at selv om redoks i jordtypen kan indikere at jernreduksjon dominerer, vil også andre prosesser som f.eks. sulfatreduksjon og dannelse av metallsulfider forekomme. For lavere redoksforhold, vil karbon-nedbrytning foregå langsommere. Så lenge det ikke er inntrenging av fritt oksygen, vil også korrosjon av metallgjenstander foregå langsommere.

En typisk teskje jord kan inneholde bakterier i størrelsesorden 10^9 . Bakterietypene varierer voldsomt mellom hvor jorden kommer fra, dybden av prøven osv. Aktivitet og kjemisk/fysisk fingeravtrykk av jordtypen vil bestemme hvilke typer bakterier som blir dominerende i jorden og dermed hvilke prosesser som dominerer. Noen bakterier kan redusere både nitrat og sulfat, og prosessen som dominerer, bestemmes av hvor mye næringsstoff som er til stede (f.eks. sulfat / nitrat). Grunnvannskilden og grunnvannskjemi er derfor meget viktig i påvirkning av prosessene som foregår i kulturlag.

I naturen kan vi observere at aerobe forhold med oksygen til stede, går over til nitratreduserende forhold når alt oksygen er brukt opp, så lenge det er nitrat tilgjengelig. Deretter følger mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før forholdene blir metanogene – så lenge de nødvendige næringsstoffene er til stede.

Under metanogene forhold, observeres langsom nedbrytning av organisk materiale, og mindre korrosjon av metallgjenstander. Korrosjon under slike forhold forårsakes av sulfid-dannelse og oksidasjon av jern og mangan til de respektive metallsulfider.

Nedbrytning av organiske gjenstander blir lavere dersom redokspotensialet blir mer negativt. Hastigheten av den organiske nedbrytningen vil som oftest avta i rekkefølge nitrat-, mangan-, jern-, sulfatreduserende til metanogene forhold.

Oksidative og nitratreduserende forhold kan som regel karakteriseres som dårlige bevaringsforhold, mens sulfatreduserende og metanogene forhold kjennetegner bra til utmerket bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning. Redoksforhold mellom de forskjellige mikrobielle prosesser vises i Figur 1 (Madigan og Martinko, 2006).

Tabell 2 viser en enkel oversikt over hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. Dette er gjort som en vurdering av parametere beskrevet i NS 9451:2009. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det røde markerte området vises nivåer av målte kjemiske parametere for typisk oksiderende forhold, mens reduserende forhold er vist med grønt.

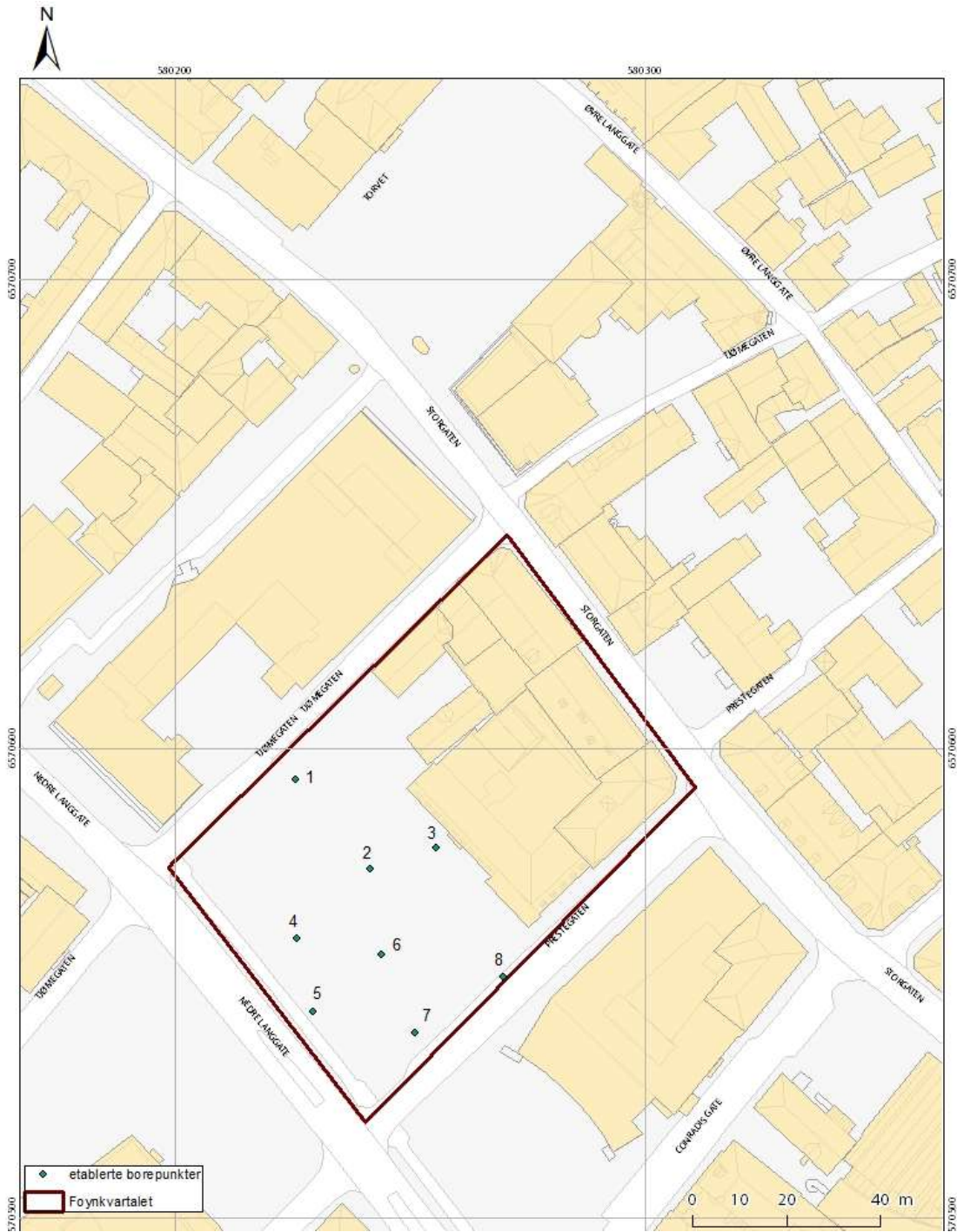
Redoksforhold i grunnen kan karakteriseres ved å måle redokssensitive komponenter i jord og porevann (oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid, metan). Høye oksygenkonsentrasjoner indikerer for eksempel at forholdene er oksidative og at mikroorganismene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

Tabell 2. Relative konsentrasjoner av dominerende næringsstoffer i jordtypen under forskjellige redoks forhold og bevaringsgrad i kulturlag.

Relativ konsentrasjon					Dominerende prosess	Redoks (mv)	Bevaringsgrad
NO ₃	NH ₄	S ²⁻	Fe (II)	Fe (III)			
Lav	Lav	Lav	Lav	Høy	Oksiderende	200	Elendig
Høy	Lav	Lav	Lav	Høy	Nitratreduksjon / Oksiderende	100	Dårlig
Høy	Lav	Lav	Høy	Lav	Nitratreduksjon / Jernreduksjon	0	Middels
Lav	Lav	Lav	Høy	Lav	Jernreduksjon	-100	Middels
Høy	Høy	Høy	Middels	Lav	Nitratreduksjon / Sulfatreduksjon	-200	Bra
Lav	Høy	Høy	Middels	Lav	Sulfatreduksjon	-270	Bra
Lav	Høy	Høy	Høy	Lav	Sulfatreduksjon / Metanogenese	-400	Utmerket

2 Teknisk installasjonsbeskrivelse (Cautus)

For overvåkingen av Foynkvartalet valgte NIKU fire miljøbrønner for instrumentering og overvåking av vannkvalitet i grunnvannet. Disse er merket som punkt 2, 4, 6 og 8 i kartet under. Det ble tatt ut jordprøver av disse miljøbrønnene samt også for punktene 1, 3, 5 og 7.



Figur 2. Kart over miljøbrønner i Foynkvartalet

For å kunne plassere loggerskap under bakken, ble det installert kummer rundt toppen av miljøbrønnene. Kummene ble plassert slik at miljøbrønnen ligger rett i midten av kumringen. Det hadde vært gunstigere med tanke på skapplassering hvis brønnene hadde ligget nærmere kanten av kumringen, men for å skape plass til loggerskap ble brønnene kappet så lavt som mulig. Et eksempel på dette vises i Figur 3.



Figur 3. Eksempel på kumring ovenpå miljøbrønn

Kabelføringer til brønnene ble gjort ved å skjære en kort kanal på toppen av brønnrøret like under lokket som forsegler brønnen. Strips og teip ble brukt for å feste instrumentet slik at sensorene ligger på dybdene spesifisert av NIKU.



Figur 4. Eksempel på kabelføring

Bildene som følger, viser installasjonene for hvert av målepunktene.



Figur 5. Miljøbrønn 2



Figur 6. Miljøbrønn 4



Figur 7. Miljøbrønn 6



Figur 8. Miljøbrønn 8



Figur 9. Barometer for å korrigere for lufttrykk.

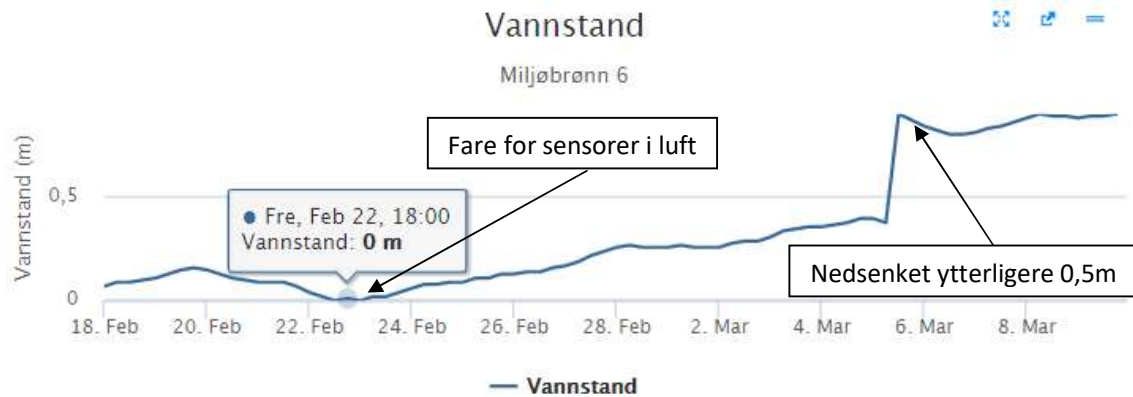
Tabell 3 viser dybdene under asfalt/bakkenivå der sensorene ble plassert, samt dybder til kulturlag, grunnvann og filter i brønnrør. Dette var basert på informasjon oversendt fra NIKU. Alle tall refererer til dybde fra asfaltenivå eller markoverflate.

Tabell 3. Dybdeinformasjon

Borepunkt	Kulturlag påtruffet under asfalt/bakke	Tykkelse kulturlag	Grunnvann påtruffet	Filter for miljøovervåking	Sensordybde under bakke
2	0,6 m	4,0 m	3,2 m	3,2 m	3,2 m
4	2,1 m	2,2 m	3,0 m	3,0 – 4,0 m	3,0 m
6	0,4 m	2,1 m	1,5 m	1,5 – 2,5 m	2,0 m*
8	1,3 m	1,1 m	1,5 m	1,4 – 2,4 m	1,9 m*

*Nedsenket ytterligere 0,5 m den 5.3.2019 pga. lav vannstand

Som vist i tabellen ble instrumentene installert til toppen av brønnfiltre på alle borepunkt den 16.1.2019. På grunn av lave vannstandsmålinger på punkt 6 og 8, ble sensorene nedsenket ytterligere 0,5m den 5.3.2019. Dette for å unngå datamangel fra sensorer som til tider står i luft.



Figur 10. Utklipp av måledata fra miljøbrønn 6 som viser lav vannstandsmåling og sensorflytting den 5.3

3 Geokjemiske analyseresultater

3.1 Prøvetaking og prøvebeskrivelse

Prøvene ble tatt fra boresøylar (kjerner) under boring i Foynkvartalet i perioden 18. – 26.6.2018.

Prøvene ble oppbevart anaerobisk og sendt til Eurofins for analyser av S1 og S2 parametere.

Prøvetaking er beskrevet i Halvorsen 2018. Det har blitt installert 4 stk miljøbrønner med overvåkingssensorer i Foynkvartalet.

Tabell 4 viser prøvene og beskrivelsen ift. hvilken boresøyle og lag i søylen de kommer fra. Dybden er tatt fra øvre dybde beskrevet av NIKU (Halvorsen 2018).

Tabell 4. Prøvebeskrivelser med tilhørende boresøyle og dybde. Dybden er tatt for dybdeprofilen av laget prøven er tatt fra. Dybden er beskrevet som øvre dybde på laget.

Prøvebeskrivelsen	Boresøyle	Dybden (øvre, m)
Lag 4 BP 1 Foyrn	1	2,23
Jordkjemi lag 5 BP 1 Foyrn	1	2,35
P5 BP2 Foyrn	2	1,60
P6 Lag 5 BP2 Foyrn	2	1,85
P7 lag 8 BP2 Foyrn	2	1,97
P8 lag 9 BP2 Foyrn	2	2,82
P11 lag 2 BP3 Foyrn	3	2,10
P13 lag 4 BP3 Foyrn	3	3,25
P56 Jordkjemi lag 2 BP 4 Foyrn	4	2,30
P60 lag 5 BP4 Foyrn	4	2,86
P62 lag 6 BP4 Foyrn	4	3,04
P64 lag 6 BP4 Foyrn	4	3,04
P81 lag 3 BP 5 Foyrn	5	0,80
P83 lag 4 BP 5 Foyrn	5	1,55
P85 lag 4 BP 5 Foyrn	5	1,55
P43 Jordkjemi lag 3 BP6 Foyrn	6	0,40
P41 Jordkjemi lag 3 BP 6 Foyrn	6	0,40
P45 lag 4 BP 6 jordkjemi Foyrn	6	1,50
P47 lag 5 BP 6 Foyrn jordkjemi	6	1,70
P49 lag 6 BP6 Foyrn jordkjemi	6	1,77
P51 jordkjemi lag 7 BP 6 Foyrn	6	2,07
P52 lag 9 BP 6 jordkjemi Foyrn	6	2,65
P26 lag 1 BP7 jordkjemi Foyrn	7	0,78
P29 lag 2 BP7 jordkjemi Foyrn	7	0,95
P39 jordkjemi lag 8 BP 7 Foyrn	7	2,21
P35 lag 6 BP 7 jordkjemi Foyrn	7	2,58
P37 jordkjemi lag 7 BP7 Foyrn	7	2,78
P20 lag 4 BP8 Foyrn	8	1,85
P22 lag 5 BP8 Foyrn	8	2,15

3.2 Analyseresultater jordprøver

Tabell 5 viser resultatene fra kjemiske og fysiske analyser av kjerneprøver som ble tatt fra Foynkvartalet 18. – 26.6.2018.

Tabell 5. Resultatene fra kjemiske og fysiske analyser av kjerneprøvene fra Foynkvartalet. Sikting er gjennomført på fuktige prøver, og konsentrasjoner er oppgitt per kg tørrvekt.

Prøve	Bore-søyle	Dybde (m)	pH	Ledn.* (µS/cm)	Tot-Fe (mg/kg)	Fe ²⁺ (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	Sulfat (mg/kg)	Sulfid (mg/kg)	<5 mm sikting*	TS (%)	Glødetap (%)
Lag 4	1	2,23	6,8	280	8800	< 0,0001	160	220	1400	250	93,3	38,6	47,2
Lag 5	1	2,35	6,5	290	7200	< 0,0001	61	300	1300	220	100	31,7	80,2
P5	2	1,60	6,3	210	13000	< 0,0001	<1,5	13	880	120	85	69,5	8
P6 Lag 5	2	1,85	6,7	220	4000	< 0,0001	140	430	450	85	100	30,4	69,1
P7 lag 8	2	1,97	6,6	170	11000	< 0,0001	<1,9	83	660	92	76,9	55,1	19,9
P8 lag 9	2	2,82	6,9	360	9200	< 0,0001	71	240	2300	190	81,7	38,8	46,5
P11 lag 2	3	2,10	6,6	390	11000	< 0,0001	<2,3	330	2200	69	83,6	42,9	37,8
P13 lag 4	3	3,25	7,4	370	11000	< 0,0001	<2,5	350	2000	130	93,3	41,5	47,3
P54 lag 1	4	2,10	4,2	1000	13000	< 0,0001	22	1,5	8700	300	79,8	63,9	11,3
P56 lag 2	4	2,30	3,5	1800	18000	< 0,0001	16	<0,16	16000	390	64	73,2	8,7
P60 lag 5	4	2,86	6,2	500	14000	< 0,0001	43	12	5300	260	79,4	45,9	30,8
P62 Lag 6	4	3,04	6,9	310	9200	< 0,0001	5,9	58	3000	290	86,7	39,4	34
P64 Lag 6	4	3,04	6,9	260	17000	< 0,0001	250	1,1	3000	230	88,3	26,8	65,5
P81 lag 3	5	0,80	6	130	11000	< 0,0001	<2,8	29	1500	190	40,8	40,9	43,4
P83 lag 4	5	1,55	5,6	480	19000	< 0,0001	<2,2	61	4600	150	83,3	44,9	34,5
P85 lag 4	5	1,55	5,2	460	17000	< 0,0001	<1,9	19	4800	62	82,8	55,2	16,2
P43 lag 3	6	0,40	6,6	82	9400	< 0,0001	<1,4	16	310	12	88,4	80,1	5,6
P41 Lag 3	6	0,40	6,8	49	14000	< 0,0001	<1,5	21	34	25	82,1	65,3	7,3
P45 Lag 4	6	1,50	6,3	190	13000	< 0,0001	<1,6	22	1300	40	92,3	74,8	6,7
P47 Lag 5	6	1,70	6,6	160	16000	< 0,0001	40	81	1100	70	89,5	63,4	13
P49 Lag 6	6	1,77	6,5	87	8700	< 0,0001	<2,0	15	360	59	93,1	48,5	44,2
P51 Lag 7	6	2,07	6,1	280	15000	< 0,0001	10	210	2500	200	93,8	30,5	51,4
P52 Lag 9	6	2,65	7,9	430	7400	< 0,0001		52	1900	140	100	75,6	4,5
P26 Lag 1	7	0,78	6,3	110	14000	< 0,0001	<2,8	40	700	33	93,8	42,5	36,8
P29 Lag 2	7	0,95	5	570	16000	< 0,0001	<1,7	0,77	5900	130	85	57,7	17
P39 Lag 8	7	2,21	5,5	430	19000	< 0,0001	<3,1	5,1	6500	190	92,9	28,9	53,6
P35 Lag 6	7	2,58	5,4	760	15000	< 0,0001	<2,2	1,6	8800	310	85,7	43,9	23
P37 lag 7	7	2,78	6,3	310	14000	0,0002	<1,9	0,19	2600	230	90,4	55,9	17,8

Prøve	Bore-søyle	Dybde (m)	pH	Ledn.* (µS/cm)	Tot-Fe (mg/kg)	Fe ²⁺ (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	Sulfat (mg/kg)	Sulfid (mg/kg)	<5 mm sikting*	TS (%)	Glødetap (%)
P15 lag 1	8	1,30	6,5	110	9200	< 0,0001	<1,5	0,45	580	25	100	66,6	9,7
P20 lag 4	8	1,85	6,3	250	14000	< 0,0001	<2,8	50	2400	140	88,7	35,8	42,3
P22 lag 5	8	2,15	5,5	500	19000	< 0,0001	55	1,6	5200	160	100	48,2	22,5

* Ledningsevnen er omregnet til µS/cm fra tidligere rapportert mS/m

3.3 Vurdering av analyseresultatene

Redoksforhold i prøver er ofte den viktigste parameteren som illustrerer hvordan stabiliteten er i kulturlaget. Redoksforholdet kan baseres på sulfidkonsentrasjoner i prøven. Sulfid er ekstremt flyktig og under oksiderende forhold vil konsentrasjoner av sulfid være betydelig avtagende. Stabile sulfidkonsentrasjoner indikerer dermed negative redoksforhold og reduserende tilstand i prøven. Total mengde sulfid som kan dannes er avhengig av tilgjengelig sulfat.

Økt mengde av siktemasse < 5mm indikerer at strukturen og prøven er nedbrutt (med mindre prøven inneholder mye uorganiske eller sandpartikler). I slike sammenhenger er det viktig å vurdere organisk innhold (glødetap) av prøven i tillegg til andel siktemasse < 5mm for å illustrere mulig bevaring av organiske gjenstander i kulturlaget.

Mye ammonium i prøven kan indikere økt mikrobiell aktivitet lokalt i jordlaget. Dette kan også indikere at organiske forbindelser i kulturlaget kan bli raskere nedbrutt som et resultat av dette. Dette må også vurderes sammen med tilhørende nitratverdier i prøvene.

pH-verdiene og ledningsevne brukes til å vurdere korrosivitet lokalt i lagene. Lav pH < 6 illustrerer et mer korrosivt miljø og vil være skadelig for metallgjenstander (uorganiske innhold) i kulturlaget.

Dersom det observeres en del toverdig jern (Fe²⁺) i prøven, indikerer dette stabile forhold for metallgjenstander i kulturlaget. Det skyldes ofte større forekomster av jern i kulturlagene grunnet sakte korrosjon av jern fra kulturlaget over tid og opprinnelig bergart i grunn.

Det er ingen fastsatte grenseverdier for analytiske parametere og bevaringsgraden i kulturlaget. Dette er derfor basert på vurdering av de ovennevnte parametere og hvordan de er i forhold til hverandre, jamfør Tabell 2.

4 Vurdering basert på sensordata pr 1. september 2020

Alle sensordata fra oppstart til 1. september 2020 er vist i Vedlegg 1. Disse er sammen med de kjemiske analysene av jordprøvene (Tabell 5) fra 2018, benyttet til å vurdere bevaringsforholdene i de ulike boresøylene. De kjemiske analysedataene med vurderinger ble rapportert i 2019. Sensordata er sammenlignet med disse vurderingene for å anslå om bevaringsforholdene er endret. Det er ikke foretatt noen ny vurdering av boresøylene der det kun ble tatt jordprøver i 2018, men ikke installert sensorer.

4.1 Borepunkt 2

Jordprøvene fra borepunkt 2 viste varierende organisk innhold fra høyt til middels. Det var ingen indikasjon på at dette var økende med dybden og må være grunnet de fysiske strukturene i kulturlaget. pH gjennom boresøylen var > 6,3 og dermed ikke korrosivt. Prosentandel av prøven < 5mm var gjennomgående høy for alle prøvene (77 – 100%). Sulfidkonsentrasjonene varierte fra 85 til 120 mg/kg, og redoksforholdene i lagene betegnes derfor som reduserende. Basert på sulfidkonsentrasjonene, lav partikkelstørrelse og varierende organisk innhold (glødetap) ble bevaringsforhold for organisk materiale gradert gjennomgående fra bra til middels til dårlig. Bevaringsforhold for uorganisk materiale ble klassifisert som enten bra eller dårlig.

Sensordata fram til september 2020 viser at pH stort sett har holdt seg stabil rundt 6-7. Vinteren 2019/2020 var det en nedgang mot surere forhold på 3-4 før den igjen økte til mer nøytrale forhold mot vår og sommer 2020. Denne tendensen kan også sees mot september 2020. Samtidig som pH ble redusert, økte også ledningsevnen. Oksygeninnholdet og redokspotensialet har også vært meget ustabil i hele måleperioden, noe som tyder på at det stadig kommer inn noe oksygen som gjør at redokspotensialet øker. Dette kan muligens stamme fra utløsning av salter i grunnen som f.eks. stammer fra veisalting. Om vinteren vil det også være mindre grunnvannsbevegelse. Vannstanden viser stor variasjon i området 1,25 – 3 m hele siste året. Bevaringsforholdene vurderes derfor fremdeles til å være middels til dårlig for uorganisk og organiske materiale.

4.2 Borepunkt 4

De øverste jordprøvene i borepunkt 4 viste lav pH (4,2 og 3,5) og høy ledningsevne (1000 og 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Det ble påvist store mengder sulfid i alle prøvene (230 til 300 mg/kg). Selv om det var lavere pH i de høyere lagene viser dette meget stabile reduserende forhold i lagene. Ammonium konsentrasjoner indikerer tidligere økt mikrobiell aktivitet i laget. Nitratkonsentrasjoner varierte gjennom prøvene, og organisk innhold i prøvene var hovedsakelig lavt og middels.

Basert på prøvene fra de øverste lagene, ble bevaringsforhold for både uorganisk og organisk materiale vurdert til dårlig. Prøvene fra 2,86 m og dypere ble vurdert som middels for bevaring av uorganisk og dårlig til middels for organisk materiale.

Sensordata fram til september 2020 viser at pH stort sett har holdt seg stabilt rundt nøytrale forhold. Det har vært to perioder da pH har gått ned til rundt pH 4. Dette skjedde på forsommeren 2020 og i slutten av august. Det kan virke som at disse senkningene henger sammen med økt ledningsevne, noe som kan tyde på f.eks. utløsning av salter til grunnvannet. Vannstanden i miljøbrønnen har holdt seg relativt stabilt rundt 1,5 m, og verdiene er mer stabile det siste året enn året før. Redoksnivåene tilsier at det er sulfatreduserende prosesser til stede. Oksygeninnholdet er stort sett ikke målbart, noe som, med noen få unntak, har bedret seg betraktelig i 2020. Dette tyder dermed på at bevaringsforholdene er bedret.

4.3 Borepunkt 6

Syv jordprøver ble analysert fra borepunkt 6, noe som gir en bedre kartlegging av denne søylen. pH var i det nøytrale området for alle prøvene. Sulfid ble observert i alle prøvene, men var noe lavere i

de øverste fem prøvene. Det organiske innholdet i prøvene var generelt lavt, og det var forholdsvis høy andel partikler < 5mm, noe som indikerer større mengder sandpartikler eller mindre gruspartikler i søylen. Redoksforhold kan betegnes som reduserende gjennom søylen. Bevaringsforhold for organisk materiale ble gradert som bra og middels, og bevaringsforhold for uorganisk materiale ble gradert som middels til dårlig.

Sensordata fram til september 2020 viser at pH har holdt seg stabilt i det nøytrale området, men at den er svakt stigende frem mot slutten av måleperioden. Ledningsevnen viser tilsvarende noe synkende trend. Vannstanden er relativt stabil i området 0,7-1,0 m. Redokspotensialet holder seg i området som indikerer sulfatreduksjon til sulfid, og oksygenmålingene viser ikke tilstedeværelse av oksygen. Det er kun noen små utslag som kan skyldes elektronisk/instrumentstøy. Bevaringsforholdene for organisk og uorganisk materiale er derfor vurdert som bra.

4.4 Borepunkt 8

Jordprøvene fra borepunkt 8 viste sulfidkonsentrasjoner fra 25 til 160 mg/kg. Dette tyder på reduserende forhold i prøvene. Det organiske innhold var lavt i to av prøvene og middels i den tredje prøven. pH varierte fra 6,5 til 5,5. Det var noe ammonium i den siste prøven (55 mg/kg) og nitrat varierte fra 0,45 til 50 mg/l. Lav pH, noe nitrat og en del ammonium i den siste prøven indikerer mikrobiell aktivitet i en del av lagene. Andelen partikler < 5mm var høy for alle de tre prøvene. Basert på dette ble bevaringsforhold for organisk materiale vurdert som bra eller middels, og bevaringsforhold for uorganisk materiale vurdert som middels til dårlig.

Sensordata fram til september 2020 viser at pH har økt og nærmer seg nå nøytrale forhold. Tilsvarende har også ledningsevnen blitt noe redusert over tid. Siden vannstanden har holdt seg stabil på i underkant av 1 m i hele måleperioden, så tyder dette på lite sjøvannsinntrenging. Redoksforholdene har stabilisert seg på ca -450 mV og oksygenelektroden ligger på 0 % O₂. Dette indikerer gode reductive forhold, og bevaringsforholdene ser ut til å ha bedret seg siden installasjonen av sensorer og uttaket av jordprøvene i juni 2018.

5 Bevaringsvurdering

Bevaringsvurdering basert på de kjemiske analysene som ble tatt ut i 2018 er vist i Tabell 7. Hver av lagene er kommentert i det foregående kapittel. I Tabell 6 er det laget en oppsummering av de tidligere konklusjonene, og det er vurdert om sensordata tyder på en endring av forholdene. Sensormålingene tyder på en bedring av bevaringsforholdene i borepunkt 4, 6 og 8.

Tabell 6. Vurdering av bevaringsholdholdene og eventuell endring. Jordprøvene er fra ulike dybder som ikke nødvendigvis tilsvarer sensorplasseringene. For jordprøvene i 2018, henvises til Tabell 7 for å se variasjonen i søylen.

Borepunkt	Vurdering av bevaringsforhold basert på ...			
	jordprøver 2018		Sensordata pr 1. sept. 2020	
	Organisk	Uorganisk	Organisk	Uorganisk
1	Dårlig	Middels		
2	Bra/middels/dårlig	Bra/dårlig	Middels/dårlig	Middels/dårlig
3	Dårlig	Middels		
4	Dårlig	Middels/dårlig	Middels/bra	Middels/ bra
5	Middels	Dårlig		
6	Bra/middels	Middels/dårlig	Bra	Bra
7	Bra	Middels/dårlig		
8	Bra/middels	Middels/dårlig	Bra	Bra

Alle jordprøvene som ble analysert i 2018 viste sulfid i konsentrasjoner som tilsier reduserende forhold gjennomgående i kulturlagene. Det ble også observert høye %-andeler av partikler < 5mm, noe som indikerer en del sand eller mindre gruspartikler i området.

Tabell 7. Bevaringsvurdering av prøver fra kulturlagene tatt fra boresøyler fra Foynkvartalet, Tønsberg. Dybde er målt fra toppen av borepunktet (markoverflate) til toppen av det aktuelle laget.

Beskrivelse	Boresøyle	Dybde (m)	Organisk-innhold (%)	Vann-innhold (%)	pH	Ledn. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Bevaring			
							Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks	Arkeologisk tilstand
Lag 4	1	2,23	47	61	6,8	280				B3
Lag 5	1	2,35	80	68	6,5	290				B3
P5	2	1,60	8	31	6,3	210				A3
P6	2	1,85	69	70	6,7	220				A1
P7	2	1,97	20	45	6,6	170				A2
P8	2	2,82	47	61	6,9	360				B3
P11 lag 2	3	2,10	38	57	6,6	390				A3
P13 lag 4	3	3,25	47	59	7,4	370				A4
P54 lag 1	4	2,10	11	36	4,2	1000				A2
P56 lag 2	4	2,30	9	27	3,5	1800				B2
P60 lag 5	4	2,86	31	54	6,2	500				C3
P62 Lag 6	4	3,04	34	61	6,9	310				C4
P64 lag 6	4	3,04	66	73	6,9	260				C4
P81 lag 3	5	0,80	43	59	6,0	130				C4
P83 lag 4	5	1,55	35	55	5,6	480				C4
P85 lag 4	5	1,55	16	45	5,2	460				C4
P43 lag 3	6	0,40	6	20	6,6	80				A0
P41 lag 3	6	0,40	7	35	6,8	50				A0
P45 lag 4	6	1,50	7	25	6,3	190				B2
P47 lag 5	6	1,70	13	37	6,6	160				B4
P49 lag 6	6	1,77	44	52	6,5	90				B2

Beskrivelse	Boresøyle	Dybde (m)	Organisk-innhold (%)	Vann-innhold (%)	pH	Ledn. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Bevaring			
							Organisk materiale	Uorganisk materiale	Redoks	Arkeologisk tilstand
P51 Lag 7	6	2,07	51	70	6,1	280				B0
P52 Lag 9	6	2,65	5	24	7,9	430				B2
P26 Lag 1	7	0,78	37	58	6,3	110				B3
P29 Lag 2	7	0,95	17	42	5,0	570				B4
P39 Lag 8	7	2,21	54	71	5,5	430				C4
P35 Lag 6	7	2,58	23	56	5,4	760				B2
P37 lag 7	7	2,78	18	44	6,3	310				C3
P15 lag 1	8	1,30	10	33	6,5	110				A2
P20 lag 4	8	1,85	42	64	6,3	250				B3
P22 lag 5	8	2,15	23	52	5,5	500				B4

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

SOPS : NS 9451:2009

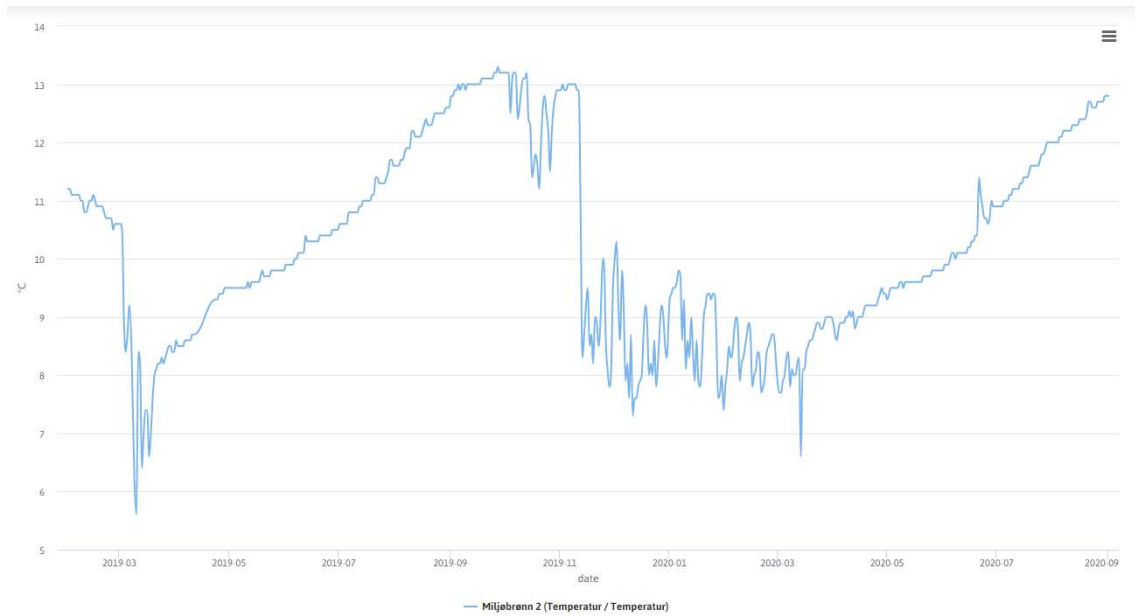
6 Referanser

Halvorsen S. W. & A. J. Dinning (2018). Foynkvartalet, arkeologisk forundersøkelse av kulturlagenes bevaringsforhold og bevaringstilstand. NIKU oppdragsrapport rapport 12/2018.

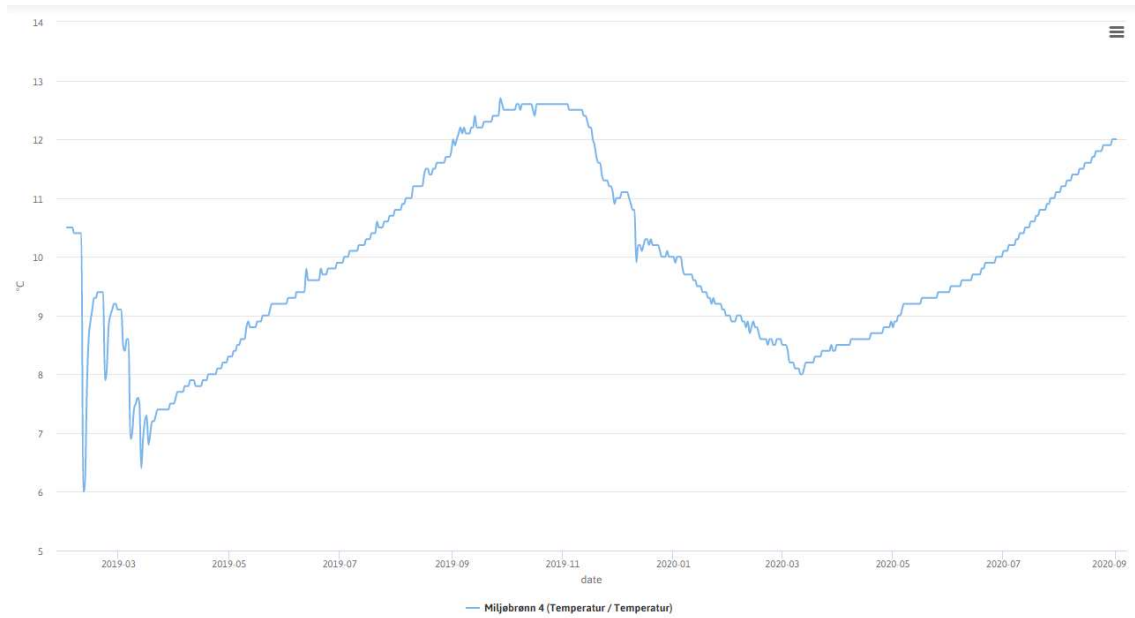
Madigan, M. T. & Martinko J. M. (2006). Brock **Biology of Microorganisms**. 11. Ed. Pearson Prentice Hall, USA.

Vedlegg 1. Sensordata pr 1. september 2020

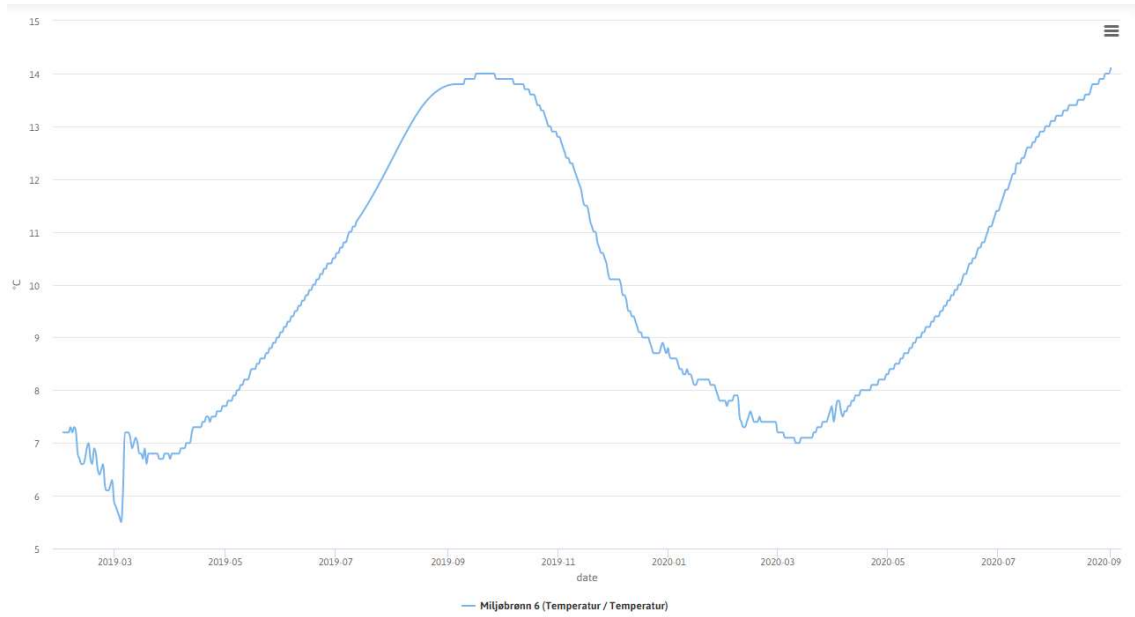
Temperatur miljøbrønn 2



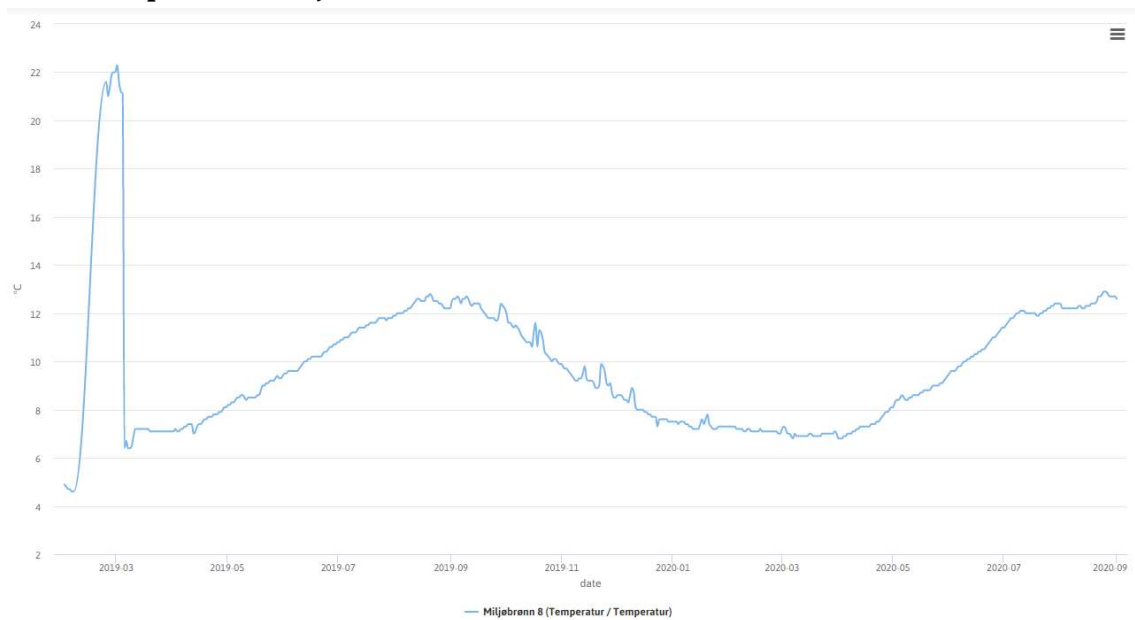
Temperatur miljøbrønn 4



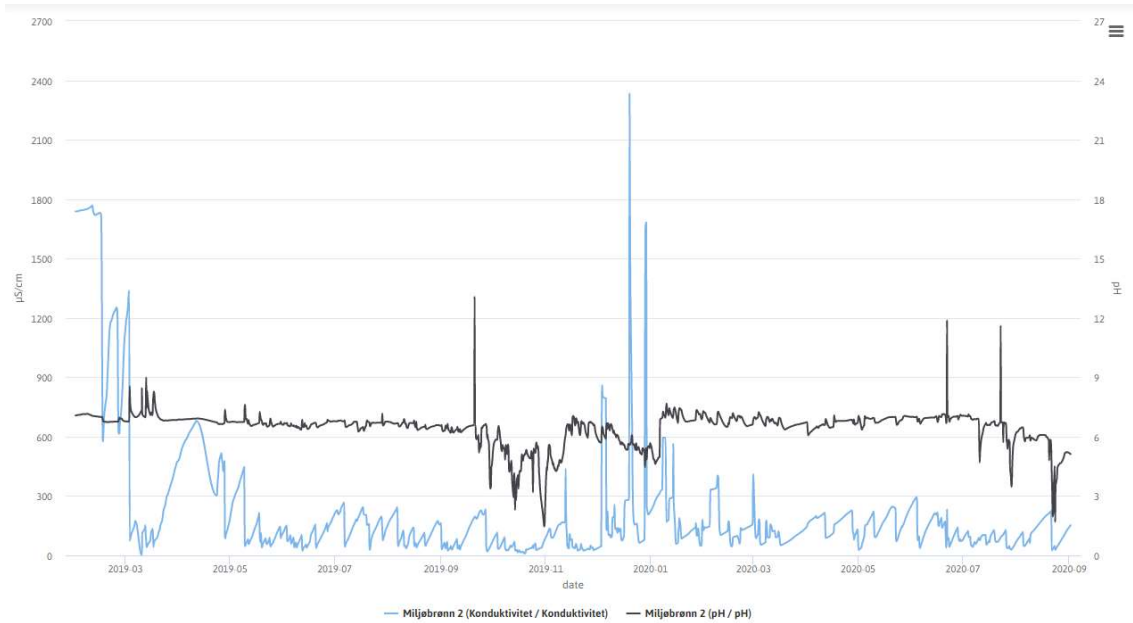
Temperatur miljøbrønn 6



Temperatur Miljøbrønn 8



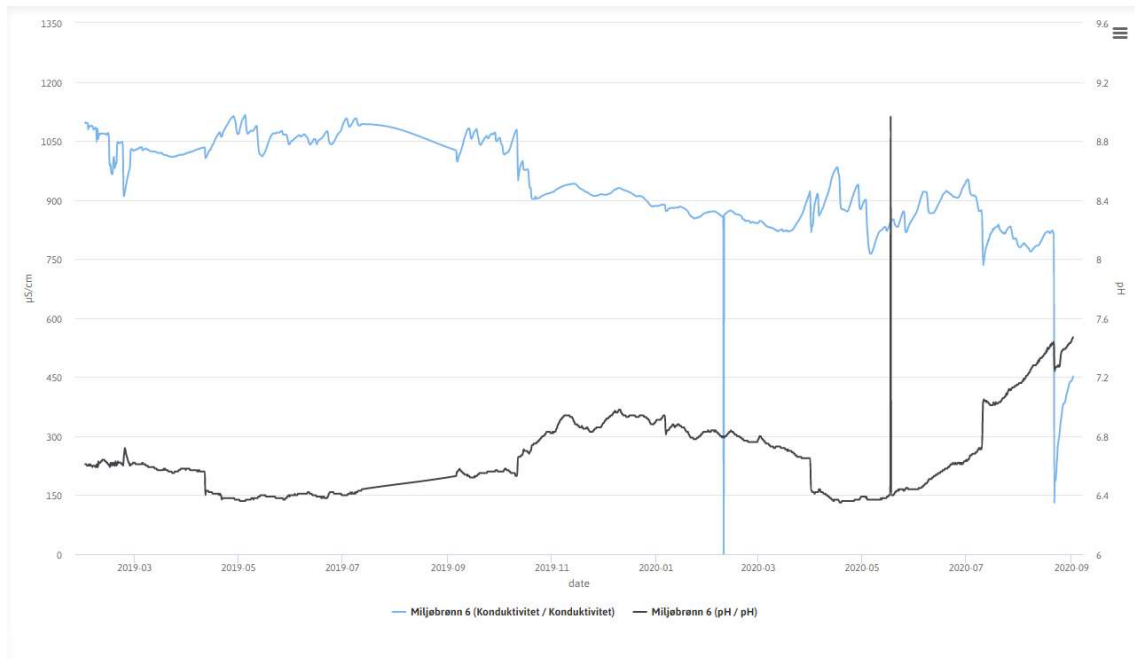
Ledningsevne og pH miljøbrønn 2



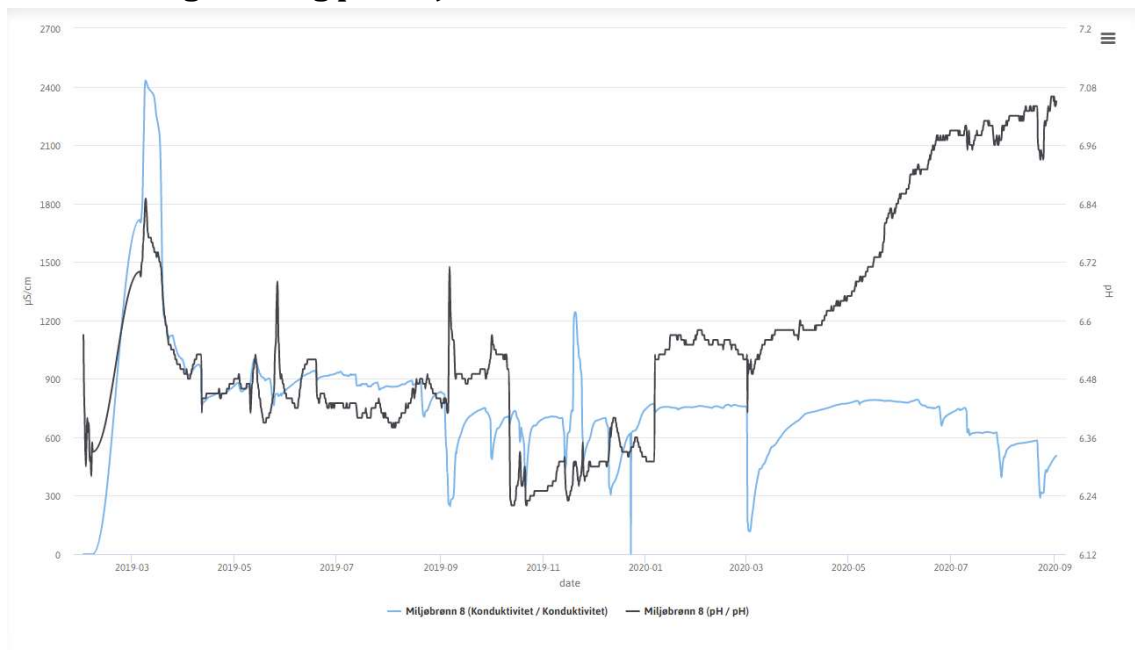
Ledningsevne og pH miljøbrønn 4



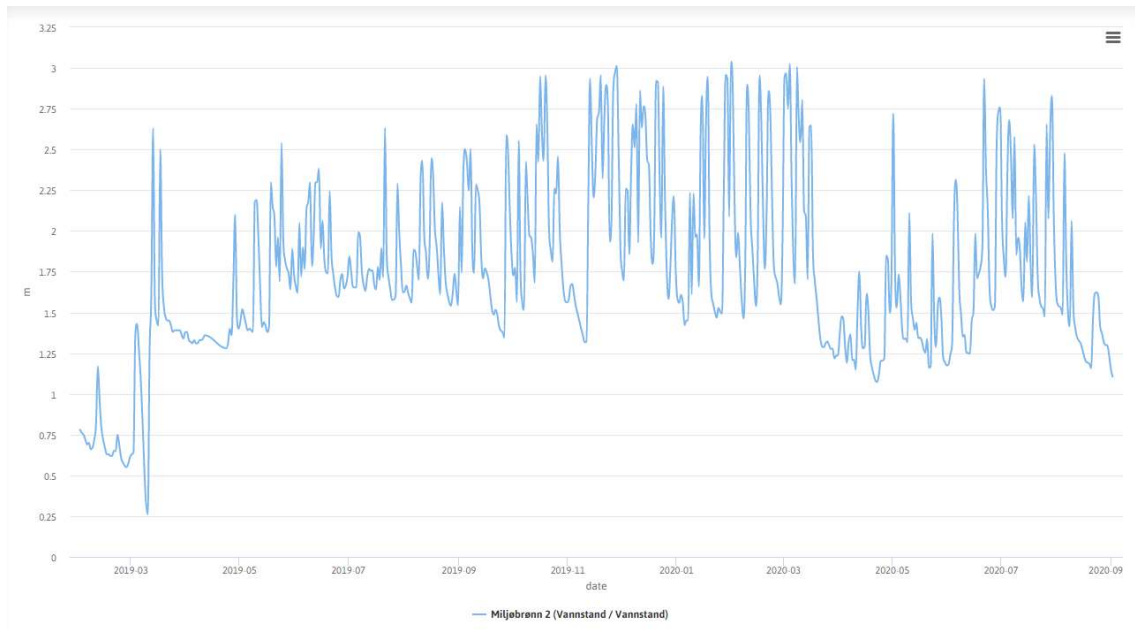
Ledningsevne og pH miljøbrønn 6



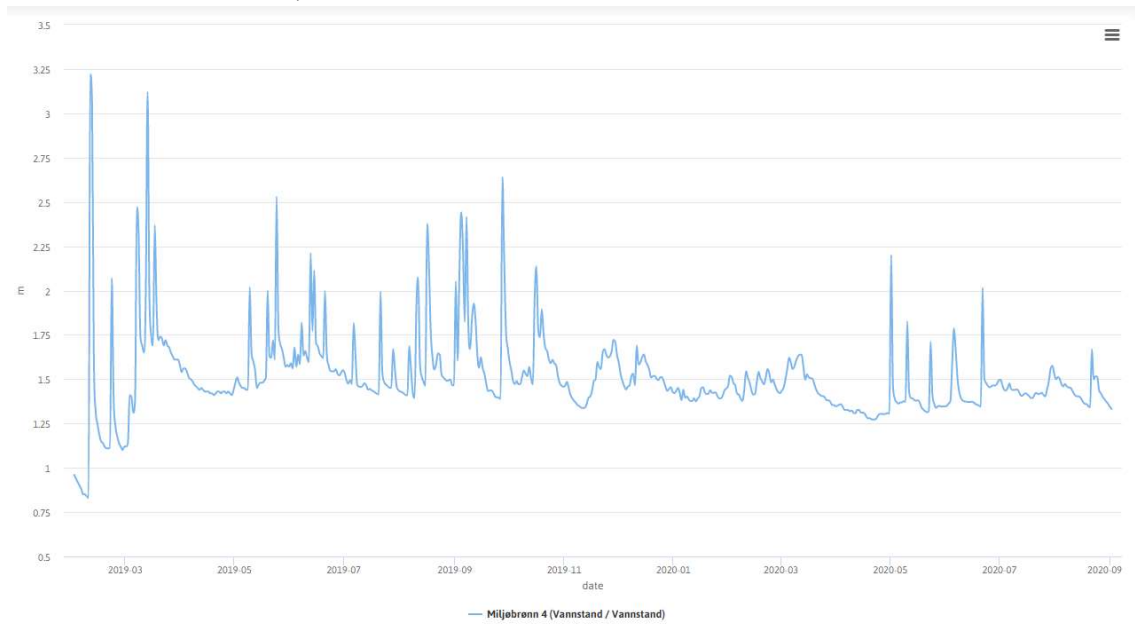
Ledningsevne og pH miljøbrønn 8



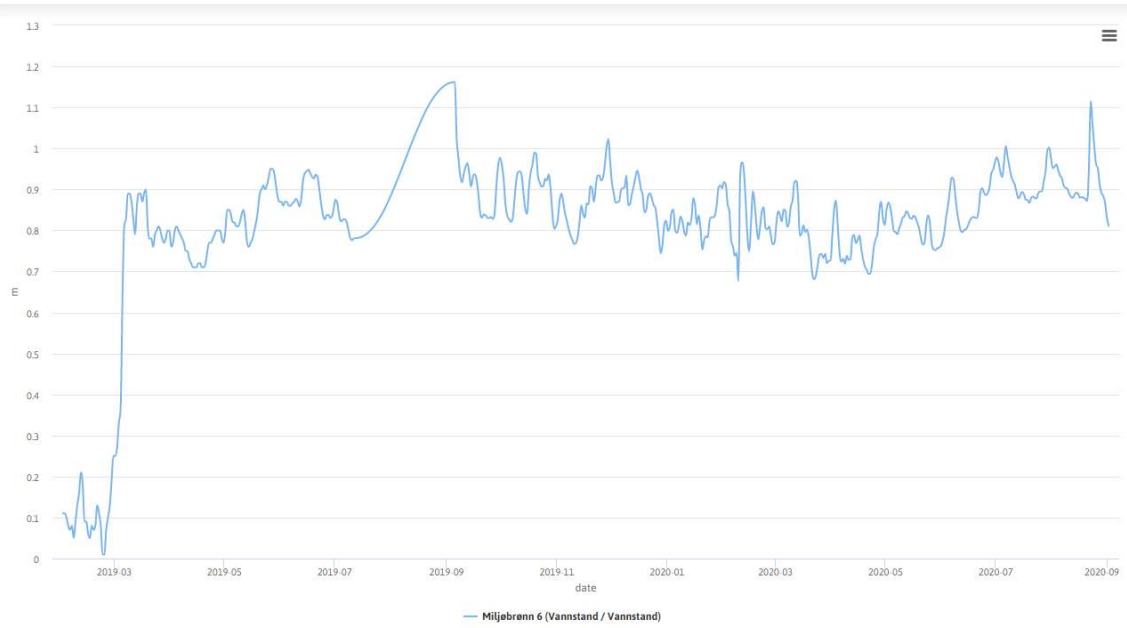
Vannstand miljøbrønn 2



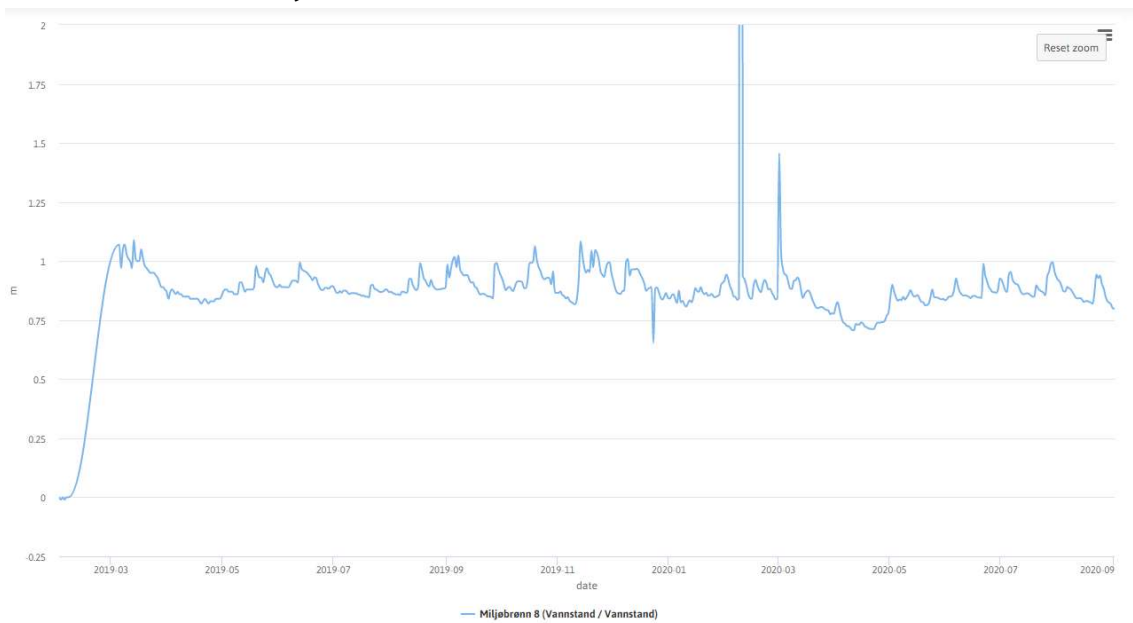
Vannstand miljøbrønn 4



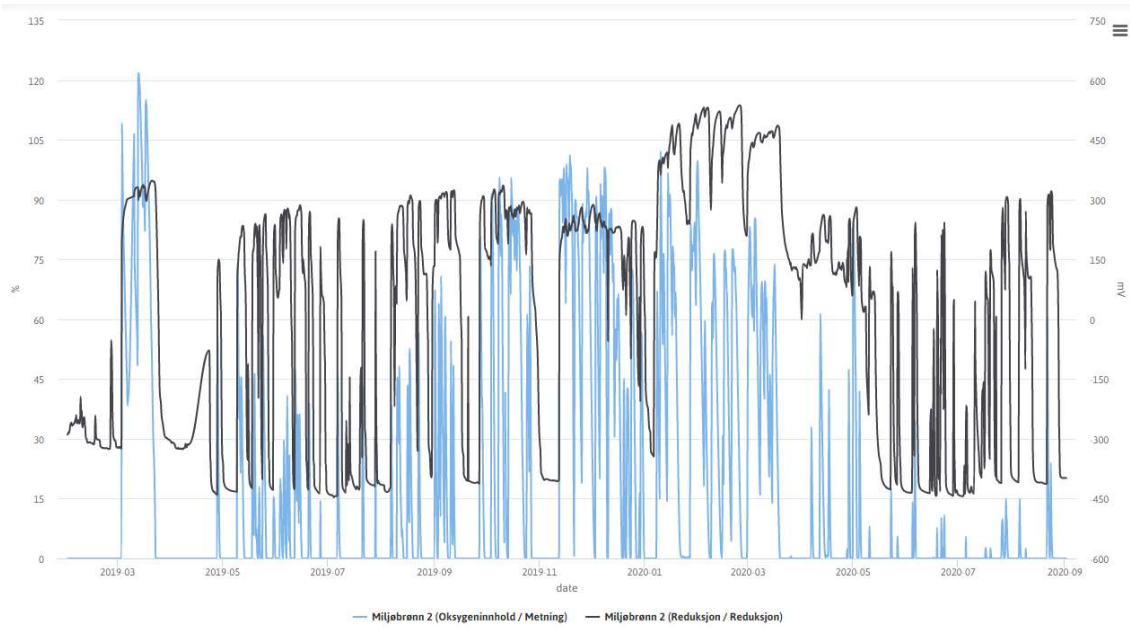
Vannstand miljøbrønn 6



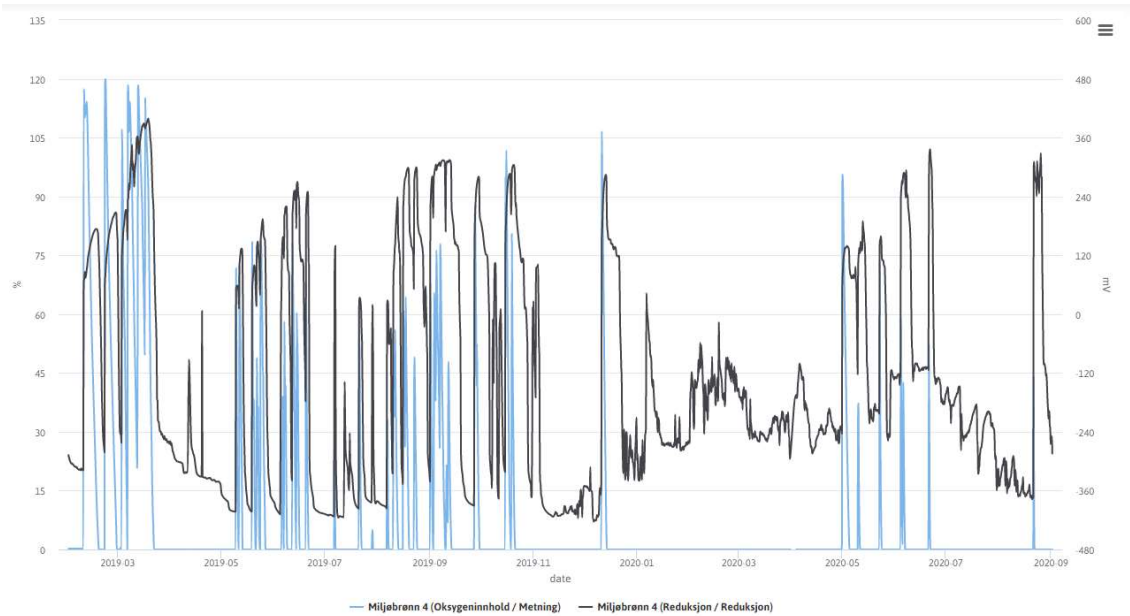
Vannstand miljøbrønn 8



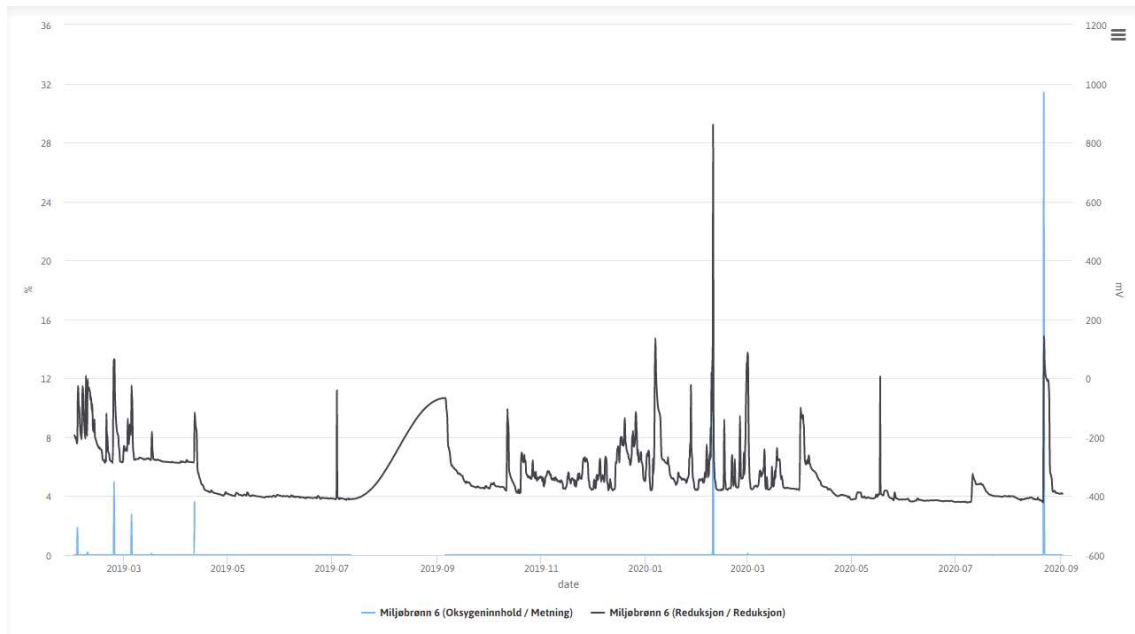
O₂ og redokspotensiale miljøbrønn 2



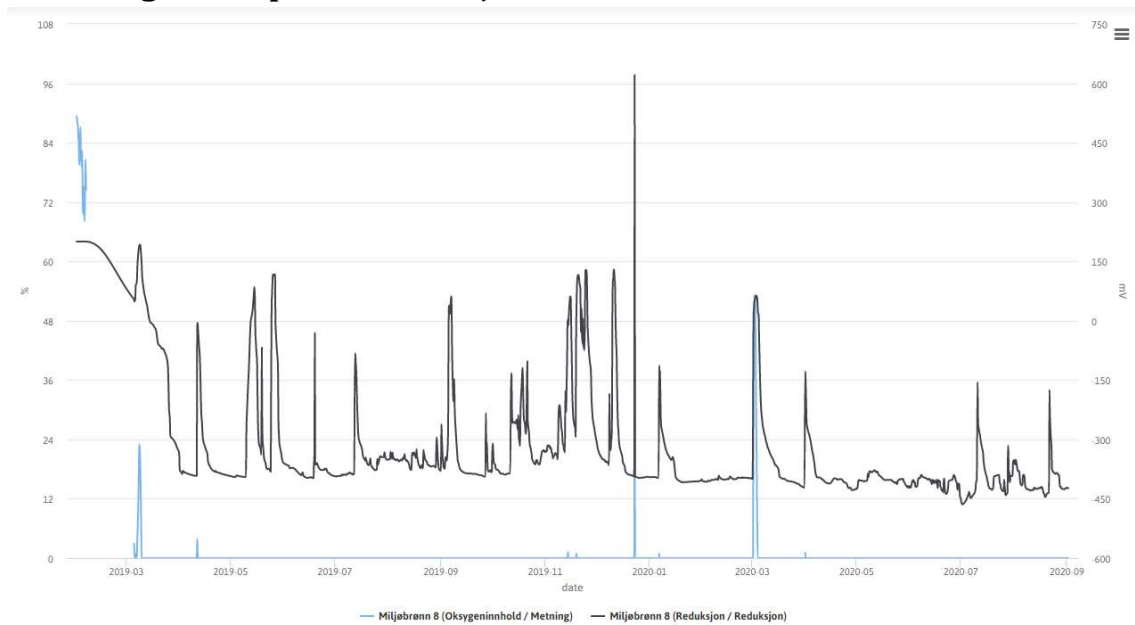
O₂ og redokspotensiale miljøbrønn 4



O₂ og redokspotensiale miljøbrønn 6



O₂ og redokspotensiale miljøbrønn 8



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 105
ISSN 1503-4895
ISBN 978-82-8101-250-9

NIKU hovedkontor	NIKU Tønsberg	NIKU Bergen	NIKU Trondheim	NIKU Tromsø
Storgata 2	Farmannsveien 30	Dreggsallmenningen 3	Kjøpmannsgata 1b	Framsenteret
Postboks 736	3111 TØNSBERG	Postboks 4112	7013 TRONDHEIM	Hjalmar Johansens gt. 14
Sentrum	Telefon: 23 35 50 00	Sandviken	Telefon: 23 35 50 00	9296 TROMSØ
0105 OSLO		5835 BERGEN		Telefon: 77 75 04 00
Telefon: 23 35 50 00		Telefon: 23 35 50 00		