



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Nitrogen i tunneldrivevann – en pilotstudie av rensfilter

NIBIO RAPPORT | VOL. 10 | NR. 8 | 2024



Roger Roseth, Elise Myhre Sverdrup og Robert Kozera  
Divisjon for miljø og naturressurser, avdeling for hydrologi og vannmiljø.

## TITTEL/TITLE

Nitrogen i tunneldrivevann – en pilotstudie av rensfilter

## FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Roger Roseth, Elise Myhre Sverdrup og Robert Kozera

|                   |                             |                                |                                       |                      |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| DATO/DATE:        | RAPPORT NR./<br>REPORT NO.: | TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:  | PROSJEKTNR./PROJECT NO.:              | SAKSNR./ARCHIVE NO.: |
| 23.01.2024        | 10/8/2024                   | Åpen                           | 53144                                 | 22/01447             |
| ISBN:             | ISSN:                       | ANTALL SIDER/<br>NO. OF PAGES: | ANTALL VEDLEGG/<br>NO. OF APPENDICES: |                      |
| 978-82-17-03438-4 | 2464-1162                   | 40                             | 1                                     |                      |

## OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Statsforvalteren i Viken

## KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Andreas Røed/Håvard Hornnæs

## STIKKORD/KEYWORDS:

Tunneldrivevann nitrogen rensfilter

Tunneling wastewater nitrogen biofilter

## FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Naturbaserte renseløsninger

Biofilter/rensfilter

## SAMMENDRAG/SUMMARY:

Tunneldrivevann fra sprengte tunneler inneholder mye nitrogen. Påviste konsentrasjoner varierer ofte mellom 30 og 150 mg N per liter, avhengig av drivemåte, innlekking av grunnvann fra og grad av resirkulering. Det antas at i størrelsesorden 30-40 % av udetonert nitrogen i sprengstoffet følger tunnelvannet, mens resten følger sprengsteinen. Etter oppdrag fra Statsforvalteren i Viken har NIBIO gjennomført et pilotforsøk for nitrogenrensing av tunnelvann i et biofilter av flishogd gråor blandet med skjellsand. Pilotforsøket er gjennomført på utbyggingsprosjektet E16 Bjørum-Skaret som et samarbeid med Statens vegvesen og Skanska. Rapporten presenterer resultater fra forsøket.

## LAND/COUNTRY:

Norge

## FYLKE/COUNTY:

Viken

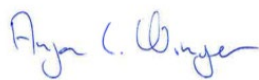
## KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Hole kommune

## STED/LOKALITET:

Riggområde M8 på Skaret

## GODKJENT /APPROVED



ANJA CELINE WINGER

## PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



ROGER ROSETH

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Statsforvalteren i Viken har finansiert utprøving av et pilotfilter for nitrogenrensing av tunneldrivevann som har blitt gjennomført av NIBIO. Andreas Røed og Håvard Hornnæs har vært kontaktpersoner for Statsforvalteren.

Pilotforsøket har blitt gjennomført av NIBIO med Roger Roseth som prosjektleder. Elise Myhre Sverdrup har hatt ansvar for sensorsystem med automatisk overvåking, herunder kalibrering, montering og datainnhenting. Robert Kozera har tatt vannprøver og utført vedlikehold av sensorer. Pilotfilteret ble blandet, stablet og gradert i en 10 m<sup>3</sup> container av Kristian Sandem og Roger Roseth med hjelp av gravemaskinfører Emil Lerfaldet leid inn fra Skollerud anlegg. Forsøkscontainer ble levert av Norsk Gjenvinning.

Forsøket ble gjennomført i samarbeid med utbyggingsprosjektet E16 Bjørum-Skaret, med god hjelp fra Statens vegvesen og entreprenør Skanska. Det rettes en stor takk til Skanska ved Otto Vold, Tiril Barland med flere, som har bidratt med praktisk hjelp og tilrettelegging under gjennomføringen av forsøket. Tilsvarende takkes Ida Viddal Vartdal og Halldis Fjermestad hos Statens vegvesen for god hjelp og nyttige innspill.

Forsøket ble forsøkt startet opp i desember 2022, men det ble utfordringer knyttet til mye snø, sterk kulde samt en lekkasje i forsøkscontaineren. Gjennomføringen av forsøket ble derfor utsatt til våren 2023. Containeren ble plassert rett ved utslippspunkt for rensset tunneldrivevann på riggområdet til Sollihøgdtunnelen, og forsøket ble gjennomført i juni og juli 2023.

Resultatene fra et tidligere og kortvarig forsøk med rensing av tunnelvann er også beskrevet.

Laboratorieanalysene har blitt utført av Eurofins.

Rapporten er skrevet av Roger Roseth med bidrag fra Elise Myhre Sverdrup og Robert Kozera. Kvalitetssikring er gjort av avdelingsleder Anja Celine Winger i NIBIO. Foto i rapporten er tatt av Roger Roseth, med mindre annet er angitt.

Ås, 23.01.24

Roger Roseth

# Innhold

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Innledning.....   | 6  |
| 2     | Utstyr, metoder og forsøkgjennomføring .....                      | 7  |
| 2.1   | Pilotfilter - container og filtermasser.....                      | 7  |
| 2.2   | Tunnelvann - pumping og hydraulisk belastning .....               | 8  |
| 2.3   | Vannprøver og analyser .....                                      | 10 |
| 2.4   | Automatisk overvåking – innløp og utløp .....                     | 10 |
| 3     | Resultater pilotforsøk rensfilter .....                           | 12 |
| 3.1   | Vannprøver .....  | 12 |
| 3.1.1 | Totalnitrogen .....   | 12 |
| 3.1.2 | Nitrat .....  | 13 |
| 3.1.3 | Ammonium.....   | 14 |
| 3.1.4 | Nitritt .....   | 15 |
| 3.1.5 | Fosfor.....   | 16 |
| 3.1.6 | Totalt organisk karbon.....                                       | 16 |
| 3.1.7 | Krom .....  | 17 |
| 3.1.8 | Sink .....  | 18 |
| 3.1.9 | Kobber og andre metaller.....                                     | 18 |
| 3.2   | Automatiske målinger.....   | 20 |
| 3.2.1 | Optiske nitratmålinger.....                                       | 20 |
| 3.2.2 | Redokspotensial (Eh) .....  | 20 |
| 3.2.3 | Optisk oksygen .....  | 20 |
| 3.2.4 | Ledningsevne.....   | 22 |
| 3.2.5 | pH22 .....  |    |
| 3.2.6 | Temperatur.....   | 23 |
| 3.2.7 | Turbiditet.....   | 23 |
| 4     | Tidligere forsøk med rensing av tunnelvann.....                   | 24 |
| 4.1   | Formål og organisering .....                                      | 24 |
| 4.2   | Gjennomføring.....  | 24 |
| 4.3   | Mengde filtermateriale og teoretisk oppholdstid .....             | 25 |
| 4.4   | Automatiske målinger og vannprøver .....                          | 25 |
| 4.5   | Resultater.....   | 25 |
| 4.5.1 | Totalnitrogen .....   | 25 |
| 4.5.2 | Nitrat .....  | 26 |
| 4.5.3 | Automatiske målinger av optisk nitrat .....                       | 26 |
| 4.5.4 | Redoksforhold ved utløp av nitrogenfilteret gjennom forsøket..... | 27 |
| 4.5.5 | Ammonium.....   | 27 |
| 4.5.6 | Nitritt .....   | 28 |
| 4.5.7 | Metaller, sulfat og olje.....                                     | 28 |
| 5     | Diskusjon og vurderinger .....                                    | 30 |
| 5.1   | Rensegrad for nitrogen .....                                      | 30 |
| 5.2   | Fjerning av ammonium .....  | 30 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3 Nitritt .....                             | 31 |
| 5.4 Krom .....                                | 31 |
| 5.5 Kobber og sink .....                      | 32 |
| 5.6 Arsen, nikkel, mangan, jern og olje ..... | 32 |
| 5.7 Sulfat.....                               | 32 |
| 5.8 Organisk stoff og fosfor .....            | 32 |
| 6 Sammenfattende vurderinger .....            | 33 |
| Litteratur .....                              | 34 |

# 1 Innledning

Nitrogen fra sprengningsaktivitet har fått økende oppmerksomhet, blant annet som følge av at nitrogen vurderes som en av de viktigste årsakene til eutrofiering og «fjorddøden» i Oslofjorden (Staalstrøm mfl. 2021). Nasjonale beregninger av nitrogentap til norske kystområder har foreløpig ikke omfattet nitrogen fra sprengstoff og byggeprosjekter (Guerrero og Sample 2021). Et midlere årlig forbruk av emulsjonssprengstoff i Norge på nærmere 70 000 tonn (Per Isdahl, DSB, pers. medd) kan indikere et samlet nitrogentap til norske vannforekomster på rundt 3000 tonn per år. Herunder er det størst belastning i områder med stor bygge- og sprengningsaktivitet.

Ved sprengning av tunneler og fjellrom så vil udetonert nitrogenholdig sprengstoff kunne følge sprengstein eller vaskes ut med anleggsvann fra driving. Samlet antas det at 15–20 % av nitrogenet i anvendt emulsjon kan vaskes ut til resipient (Roseth mfl. 2022). Av dette antas det at 50-70 % følger sprengsteinen og 30-50 % vaskes ut med drivevannet fra boring og spyling blandet med innlekkasje fra fjell. Disse tallene er usikre, og vil kunne variere mellom ulike anlegg avhengig av sprengningsteknikk, driftsprosedyrer og fjellkvalitet.

En fullskala renseløsning for nitrogen i avrenning fra sprengstein i veifylling er under utprøving i Nordlandsdalen (Roseth og Skrutvold 2022, Roseth mfl. 2023). Et filter med flishogd løvtre blandet med skjellsand har gitt god rensing av nitrogen, men klarer ikke å behandle all nitrogenholdig avrenning fra sprengsteinen under og etter store nedbørshendelser. En stor andel av den totale nitrogenavrenningen skjer nettopp i disse flommene. Rensingen av nitrogen i avrenning fra sprengstein er foreslått optimalisert gjennom en kontrollert utvasking av nitrogen på sommerstid ved at behandlet vann fra rensaneanlegget pumpes tilbake og vannes ut på toppflaten av fylling/deponi.

Anleggsvann fra tunneldriving vil gi betydelig mer kontrollerte forhold for nitrogenrensing enn nedbørsstyrt avrenning fra en stor steinfylling. Vannmengden er for en stor del styrt av mengden kjølevann brukt til boring av ladehull for sprengstoff, vannforbruk ved spyling av røys samt innlekkasje fra fjell. Samlet gir dette erfaringsmessig midlere vannmengder på 2-3 liter per sekund per stuff, men med noe økende mengder mot slutten av tunnelene som følge av innlekkasje. Gjenbruk av vann vil redusere vannmengder til utslipp, men resultere i høyere nitrogenkonsentrasjoner i utslippsvannet. Erfaringsmessig varierer nitrogenkonsentrasjonene i tunnelvann mellom 30 og 150 mg N/l, der anslagsvis 30-40 % er ammonium og 60-70 % er nitrat.

Partikkelrenset og pH-justert tunnelvann gir kontrollerte vannmengder, forutsigbare konsentrasjoner av nitrogenforbindelser og relativt jevn vanntemperatur 5-15 °C. Rammebetingelsene for iverksetting av en vellykket nitrogenrensing er dermed langt bedre enn for nedbørsstyrt utvasking av nitrogen fra sprengstein på vinterstid.

Dette var bakgrunnen for å iverksette en pilotskala utprøving for nitrogenrensing av tunnelvann. Rapportert undersøkelse gir innledende erfaringer og resultater for en slik renseløsning.

Prinsippene for konsept med utprøvd nitrogenrensing er blant annet beskrevet av Hoffmann mfl. (2019), Carstensen mfl. (2019) og Pugliese mfl. (2020). Men disse arbeidene ble utført for å prøve ut renseløsninger for rensing av nitrogen i drenevann fra jordbruksareal.

## 2 Utstyr, metoder og forsøks gjennomføring

### 2.1 Pilotfilter - container og filtermasser

Pilotfilteret ble bygd i en 10 m<sup>3</sup> container, med oppbygging, filtermasser og mål som vist i figur 1.

Samlet volum med vannfylte filtermaterialer i containeren var ca. 6,4 m<sup>3</sup>, hvorav ca. 6 m<sup>3</sup> var filtermateriale av gråor og skjellsand og ca. 0,4 m<sup>3</sup> var singel 11-16 mm. I tillegg ble det brukt ca. 0,3 m<sup>3</sup> singel 11-16 mm for å fylle innløpsrør med umettet strømming tilrettelagt for nitrifikasjon av ammonium.

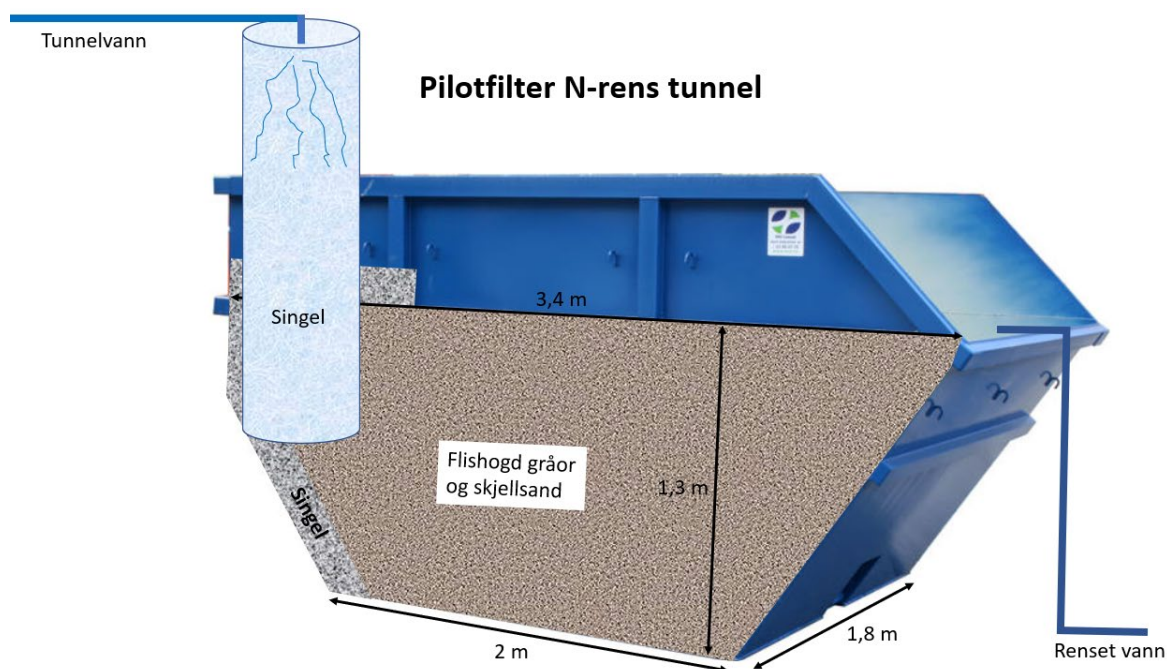
Dreneringshullene i bunnen av containeren ble tettet med fugeskum og Helly Hansen duk, og det ble lagt en hel presenning på innsiden av containeren før oppstart oppfylling med filtermaterialet. Presenningen skulle forebygge kontakt og forurensning fra den indre metallveggen i containeren.

Filtermaterialet ble laget av grovhogget flishugd gråor blandet med 15-20 volumprosent grov skjellsand kjøpt i 20 l sekker fra Felleskjøpet. Blanding med utført med gravemaskin (figur 2)

Filtermaterialene ble lagt inn med gravemaskin. Innledningsvis ble det fylt et fordelingslag med singel langs bakveggen av containeren, fra bunnen og opp. Dette ble utført i en prosess med vekselvis påfylling av filtermateriale foran fordelingslaget. Etter oppfylling ca. 60 cm fra bunnen ble to «nitrifikasjonsrør» med lengde 2,8 m og diameter 0,3 m satt på plass. Disse ble omfylt med en blanding av singel og filtermaterialer til en høyde 1,7 m fra bunnen av containeren, slik at de stod støtt (figur 3). Deretter ble rørene fylt med singel opp til en høyde 20 cm under toppen av rørene.

Laget med filtermaterialer ble avtrappet i høyde mot utløpet av containeren, slik at det endte i samme høyde som kanten i utløpet av filteret. Deretter ble filtermaterialet dekket med presenning og det ble lagt flishugd virke i en høyde 20-30 cm over presenningen. Overhøyden skulle sørge for at filtermaterialet ikke fløt opp ved påfylling av tunnelvann.

Tunnelvann ble tilført med intervallstyrt pumping av rensset og pH-justert tunnelvann.



Figur 1. Prinsippskisse av containerbasert pilotfilter for N-rensing av tunnelvann fra Sollihøgdunnelen.



Figur 2. Flishogd gråor og skjellsand før blanding med gravemaskin og fylling i container.



Figur 3. Container ferdig oppfylt med filtermaterialer og med innløpsrør fylt med singel for nitrifikasjon.

## 2.2 Tunnelvann - pumping og hydraulisk belastning

Tunnelvannet som ble tilført pilotforsøket ble pumpet fra utløpscontainer for rensset tunnelvann fra Sollihøgdtunnelen (figur 4). Pumping og tilførsel av tunnelvann til filteret (figur 5) ble utført 12 ganger i døgnet gjennom hele forsøksperioden fra 30.05 til 01.08.23. Pumping ble utført med en Gardena regnvannspumpe 4000/1 som med en oppgitt pumpekapasitet på 1,1 liter/sekund. Faktisk kapasitet levert til innløp av forsøksanlegget ble målt til 0,5 liter per sekund. I perioden fra 05.06 til



03.07.23 ble det pumpet 2 minutter 12 ganger i døgnet, dvs. en samlet døgobelastning på 720 l tunnelvann per døgnet. I perioden fra 04.07 til 01.08.23 ble døgobelastningen doblet til 1440 l tunnelvann per døgnet. Det ble da pumpet 4 minutter 12 ganger i døgnet. Tilførsel av hhv. 720 og 1440 l tunnelvann per døgnet tilsvarer en daglig nedbørsmengde på hhv. 120 og 240 mm/døgnet tilført på toppflaten av forsøkscontaineren. Samlet nedbør for juni var 40 mm, mens samlet nedbør for juli var 147 mm (se vedlegg). Naturlig nedbør har derfor liten påvirkning på forsøksresultatene.

Dersom filteret har en porøsitet på 50 % og samlet vannfylt filtermasse er 6,4 m<sup>3</sup>, så gir pumpebelastningen en teoretisk oppholdstid på 4,4 døgnet i første periode og 2,2 døgnet i den neste.



Figur 4. Container for utslipp av rensert og pH-justert tunneldrivevann med pumpe til nitrogenfilter (blå stropp).



Figur 5. Pumpet tunnelvann fordeles på begge innløpsrør for nitrifikasjon og renner umettet ned i filterbassenget.

## 2.3 Vannprøver og analyser

Vannprøver av tilført tunnelvann (INN) og rensset vann ut av pilotfilter (UT) har blitt tatt ukentlig gjennom forsøksperioden 05.06 til 01.08.23. Vannprøvene har blitt levert til Eurofins for akkrediterte analyser innenfor to timer etter uttak av prøvene.

Vannprøvene har blitt analysert for følgende parametere: pH, konduktivitet, total fosfor, total nitrogen, ammonium, nitrat, nitritt, totalt organisk karbon, løst organisk karbon. I tillegg følgende filtrerte (0,45 µm) metaller; arsen, bly, kadmium, kalsium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink.

Vannprøvene har blitt tatt som overflatevann i utløpskaret på 65 l (figur 6) som samler opp rensset vann fra pilotfilteret. Overskudd av vann fra utløpskaret renner over kanten av karet og infiltrerer i fyllinga. Med en hydraulisk belastning på 720 l, så vil vannet i utløpskaret teoretisk skiftes ut 11 ganger i døgnet. Ved en hydraulisk belastning på 1440 så er det teoretisk utskifting av vann 22 ganger i døgnet.

Avrenningen ut av containeren samles opp i en takrenne (figur 6) som fører rensset vann ned i det omtalte overløpskaret på 65 l.



Figur 6. En takrenne i plast fører rensset avrenning fra pilotfilteret ned i et overløpskar (65 l) for uttak av vannprøver.

## 2.4 Automatisk overvåking – innløp og utløp

Automatisk sensorovervåking av vannkvaliteten for tilført tunnelvann (INN) og rensset vann fra utløp av pilotfilter (UT) ble installert 04.07.23.

I utløpskaret ble det installert en Trios NICO™ måler for optisk nitrat (figur 7) i et slisset brønnrør med diameter 100 mm (figur 8). Måleren hadde lysåpning på 1 mm og måleintervall på 0-60 mg NO<sub>3</sub>-N/l. I tillegg ble det installert en SEBA MPS-D8 multiparametersensor som ga målinger av redokspotensial (Eh), optisk oksygen, vanntemperatur, pH, ledningsevne og turbiditet. MPS-D8 sensoren ble montert i et slisset brønnrør av plast med indre diameter 48 mm (figur 8).

I container for tunnelvann ble det installert en tilsvarende Trios NICO måler for optisk nitrat (figur 9). Her ble det også installert en multiparametersensor MPS-D8 som målte de samme parameterne som beskrevet for utløp. Sensorsystemene utførte målinger av nevnte parametere hver halvtime, og målingene ble overført til en nettbasert database tre ganger i døgnet. Sensorene har blitt vasket og vedlikeholdt ukentlig av kvalifisert personell fra NIBIO.



Figur 7. Trios NICO optisk sensor for måling av nitrat, montert både ved innløp (INN) og utløp (UT) av pilotfilter.



Figur 8. Utløpskar for rensert vann instrumentert med nitrat- og multiparametersensor (Foto: Elise M. Sverdrup).



Figur 9. Nitrat- og multiparametersensor montert i container med tunnelvann (Foto: Elise M. Sverdrup).

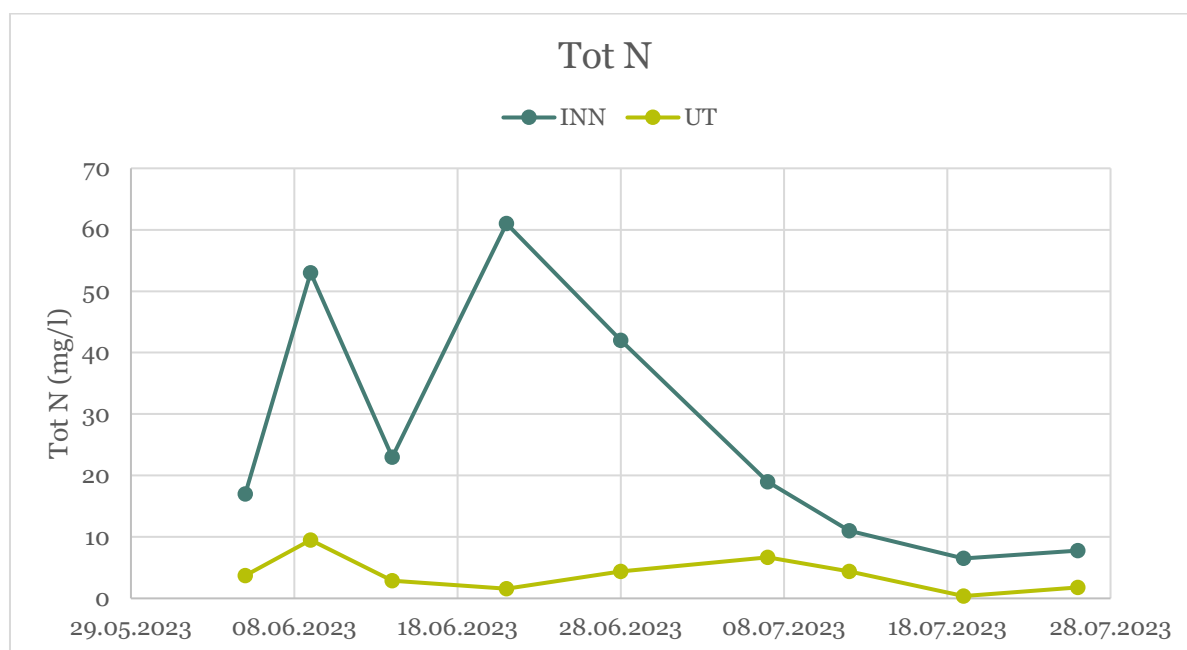
## 3 Resultater pilotforsøk rensefilter

### 3.1 Vannprøver

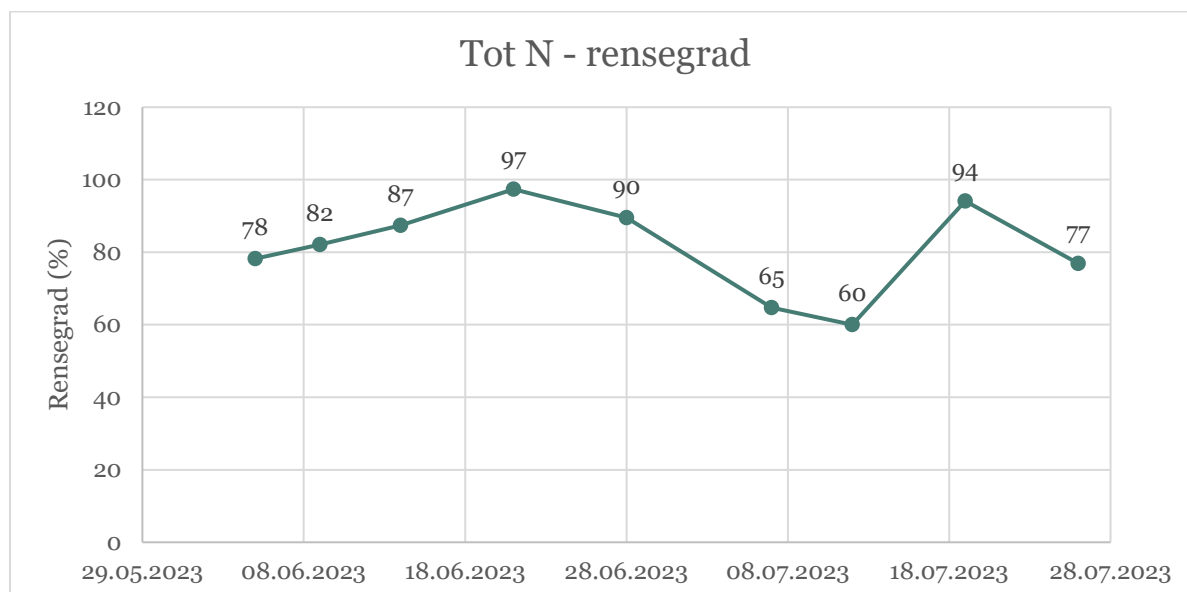
#### 3.1.1 Totalnitrogen

Påviste konsentrasjoner av totalnitrogen (Tot N) i tilført tunnelvann (INN) varierte mellom 7 og 61 mg N/l (figur 10). Konsentrasjonene i utløp (UT) fra rensefilteret varierte mellom 0,4 og 9,5 mg N/l.

Med basis i parvise vannprøver tatt på samme tidspunkt varierte rensegraden for Tot N mellom 60 og 97 % (figur 11). Midlere rensing for alle parvise vannprøver var 81 %.



Figur 10. Konsentrasjoner av Tot N påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

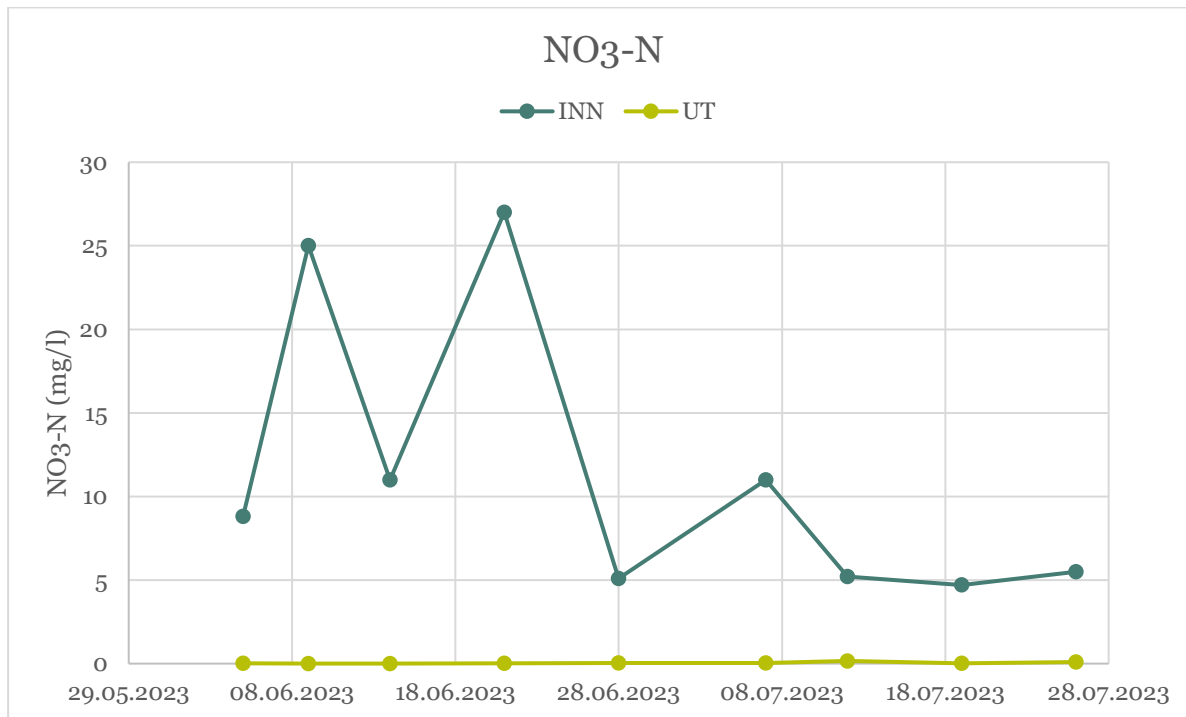


Figur 11. Rensegrad (%) for Tot N i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

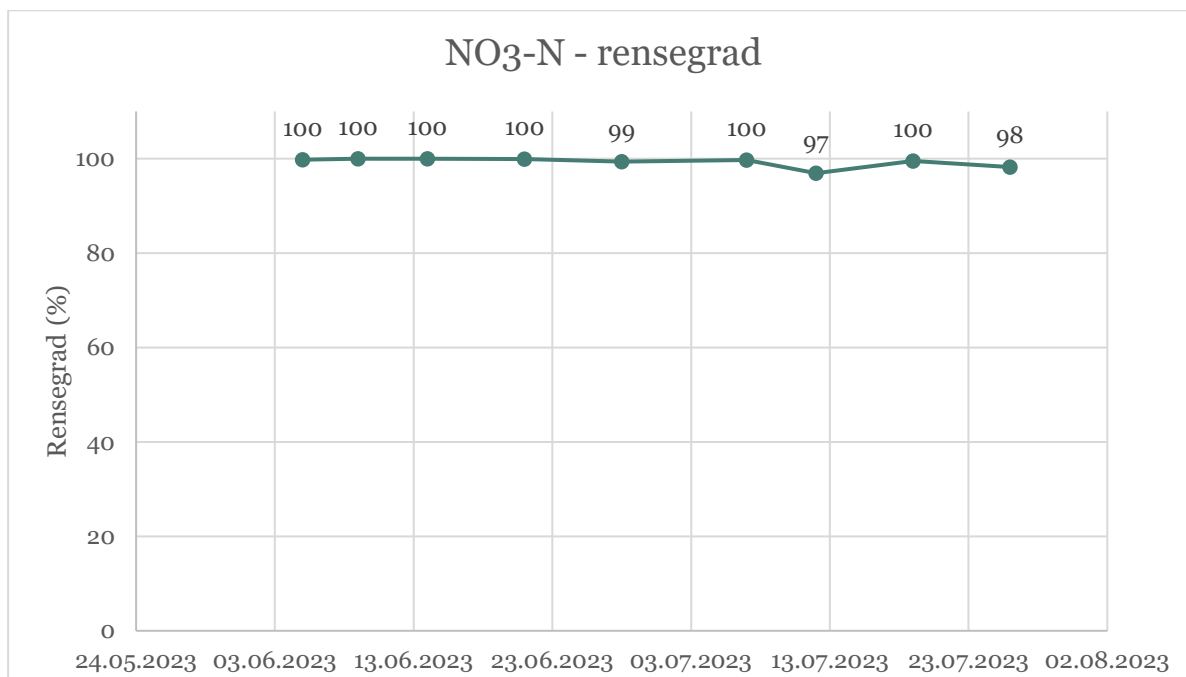
### 3.1.2 Nitrat

For nitrat varierte innløpskonsentrasjonene (INN) mellom 4,7 og 27 mg N/l (figur 12). Sammenlignet med den første delen av juni var nitratkonsentrasjonene vesentlig lavere fra slutten av juni og gjennom hele juli. I utløpet (UT) av rensfilteret ble det registrert svært lave konsentrasjoner av nitrat, fra 0,02 til 0,2 mg N/l.

Oppnådd rensegrad for nitrat varierte fra 97 til 100 %, med en middelvei på 99 % (figur 13).



Figur 12. Konsentrasjoner av nitrat påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensfilter.

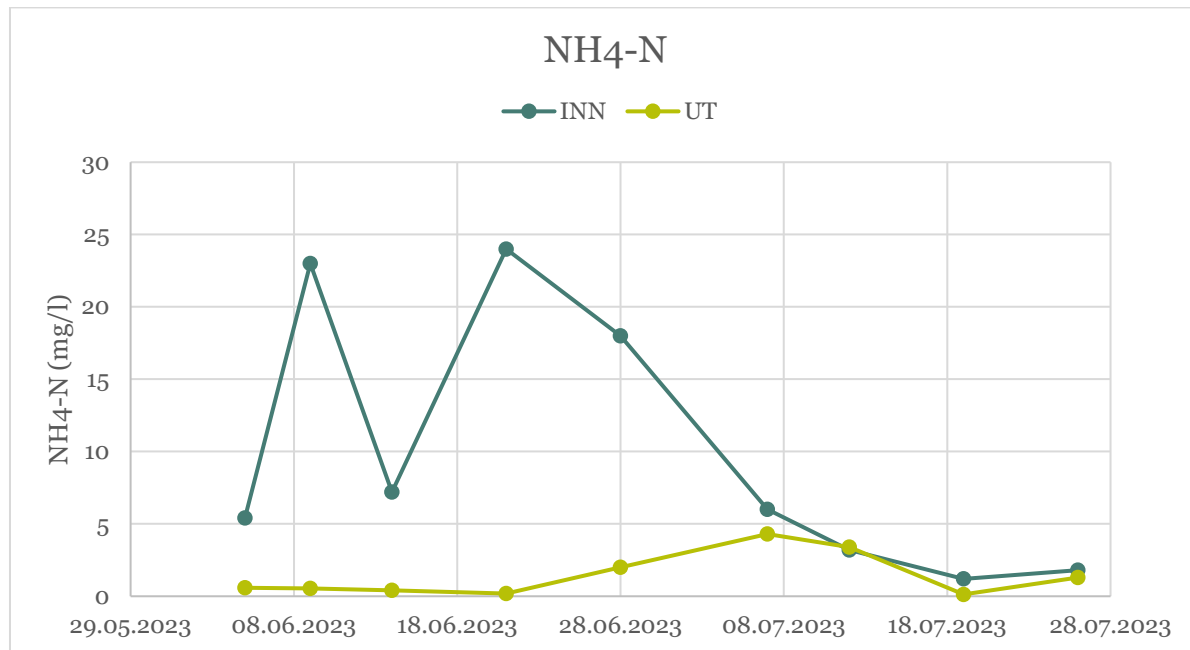


Figur 13. Rensegrad (%) for nitrat i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensfilter.

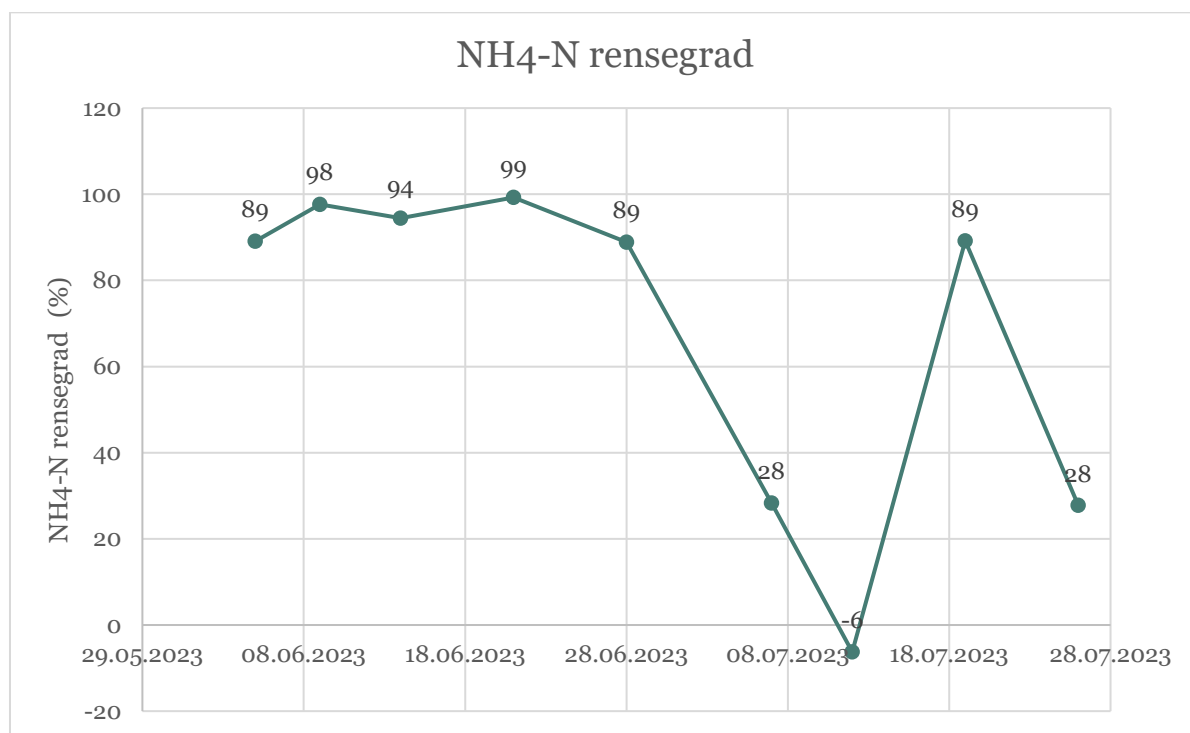
### 3.1.3 Ammonium

For ammonium varierte innløpskonsentrasjonene (INN) mellom 1,2 og 24 mg N/l (figur 14). Utløpskonsentrasjonene (UT) varierte mellom 0,2 og 4,3 mg N/l.

Rensegrad for parvise prøver av INN og UT varierte fra -6 til 99 % (figur 15). Filtermaterialet av flishogd gråor antas å gi en betydelig sorpsjon av ammonium i begynnelsen. Sorpsjonen avtar etter hvert som sorpsjonskapasiteten for ammonium i materialet fylles opp.



Figur 14. Konsentrasjoner av ammonium påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensfilter.

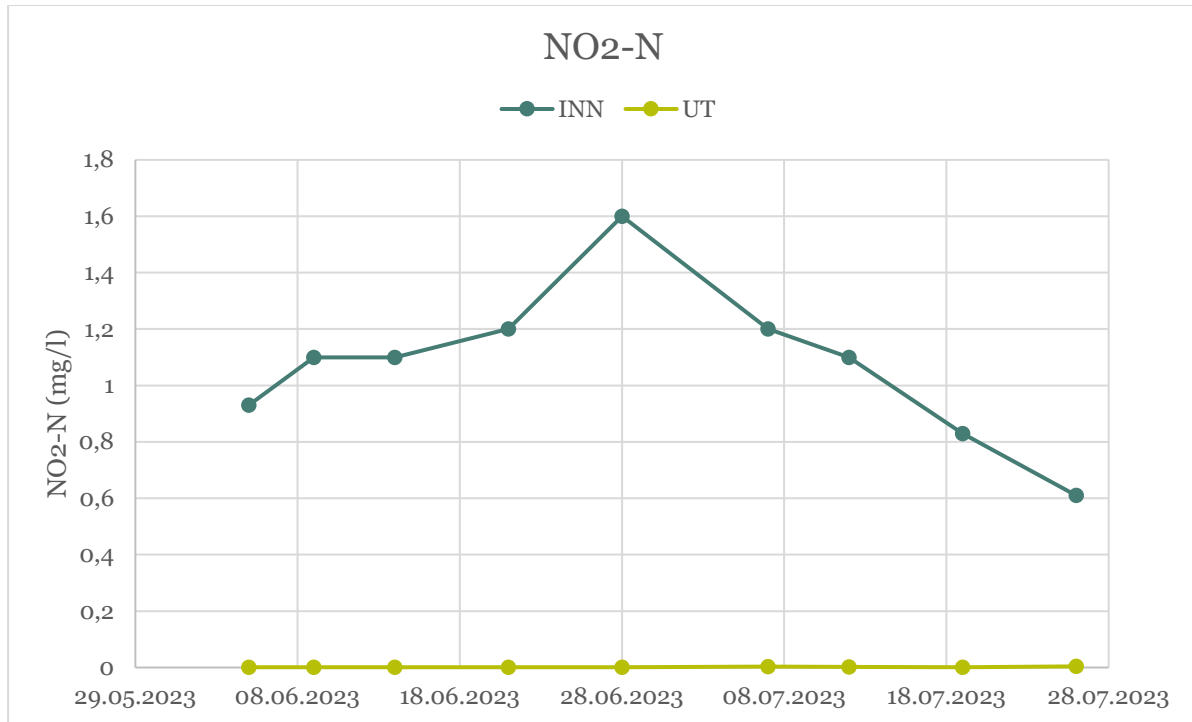


Figur 15. Rensegrad (%) for ammonium i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensfilter.

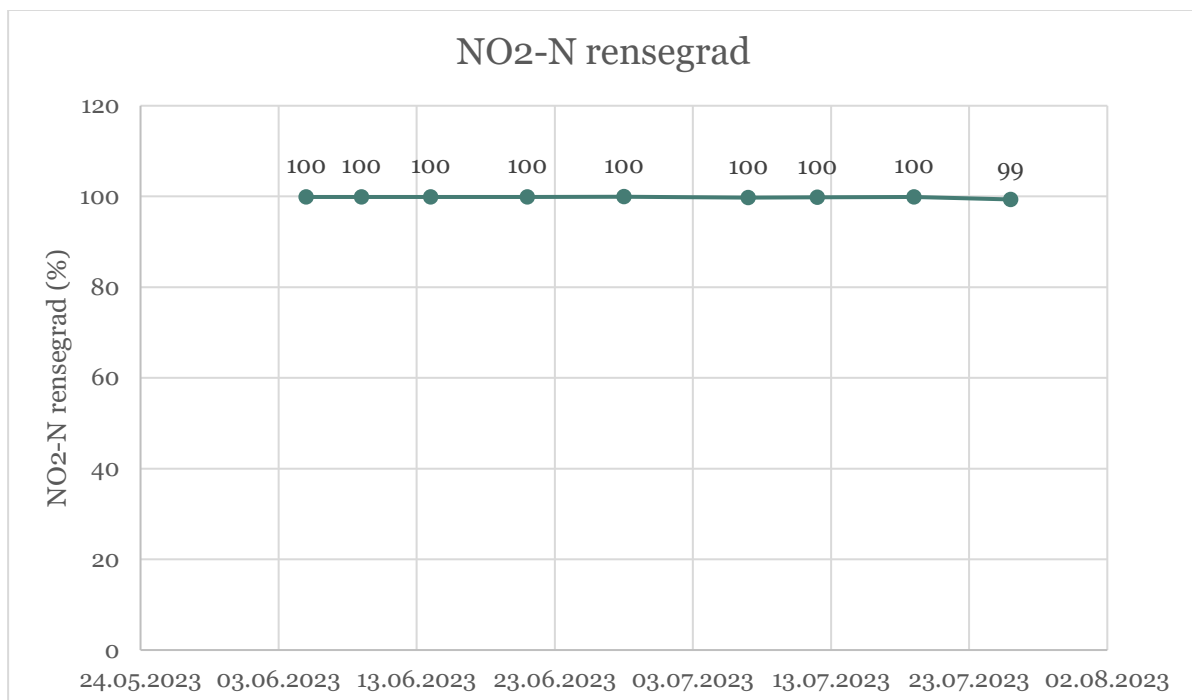
### 3.1.4 Nitritt

Tilført tunnelvann (INN) viste konsentrasjoner av nitritt mellom 0,6 og 1,6 mg N/l (figur 16). Renset vann (UT) viste konsentrasjoner fra <0,002 mg (ikke målbart) til 0,004 mg N/l.

Rensegrad for nitritt gjennom filteret varierte mellom 99 og 100 % (figur 17).



Figur 16. Konsentrasjoner av nitritt påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

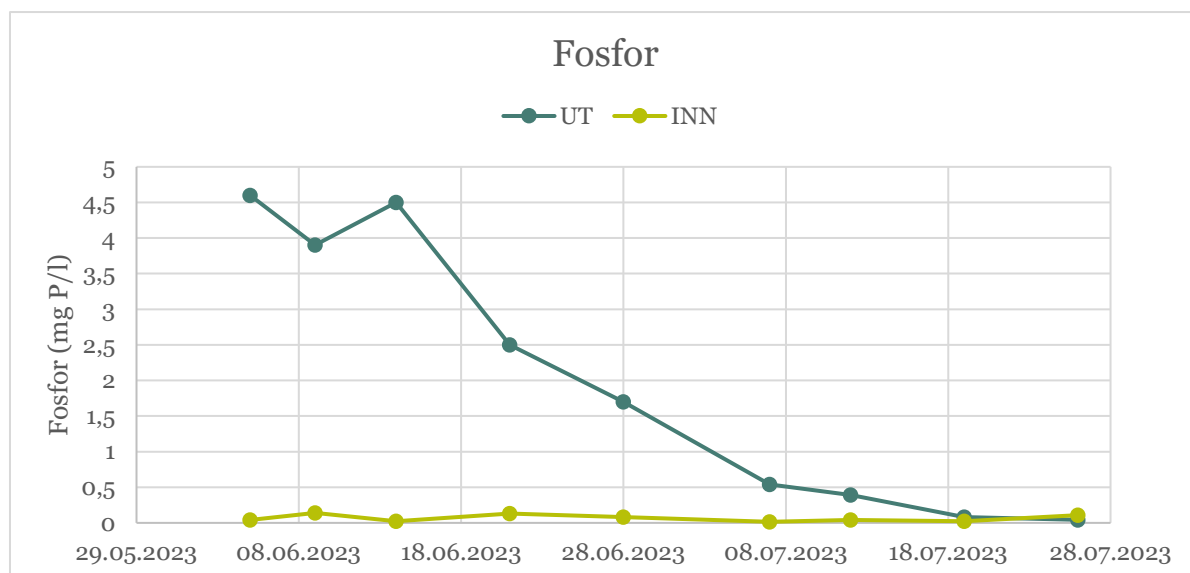


Figur 17. Rensegrad (%) for nitritt i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

### 3.1.5 Fosfor

Utløpsvannet fra filteret anrikes med fosfor fra filtermaterialet. Konsentrasjonen avtok med mengde tunnelvann som ble ført gjennom rensfilteret. Påviste konsentrasjoner UT av filteret varierte mellom 0,04 og 4,6 mg P/l (figur 18).

Tilført tunnelvann (INN) viste konsentrasjoner som varierte fra 0,03 til 0,13 mg P/l.

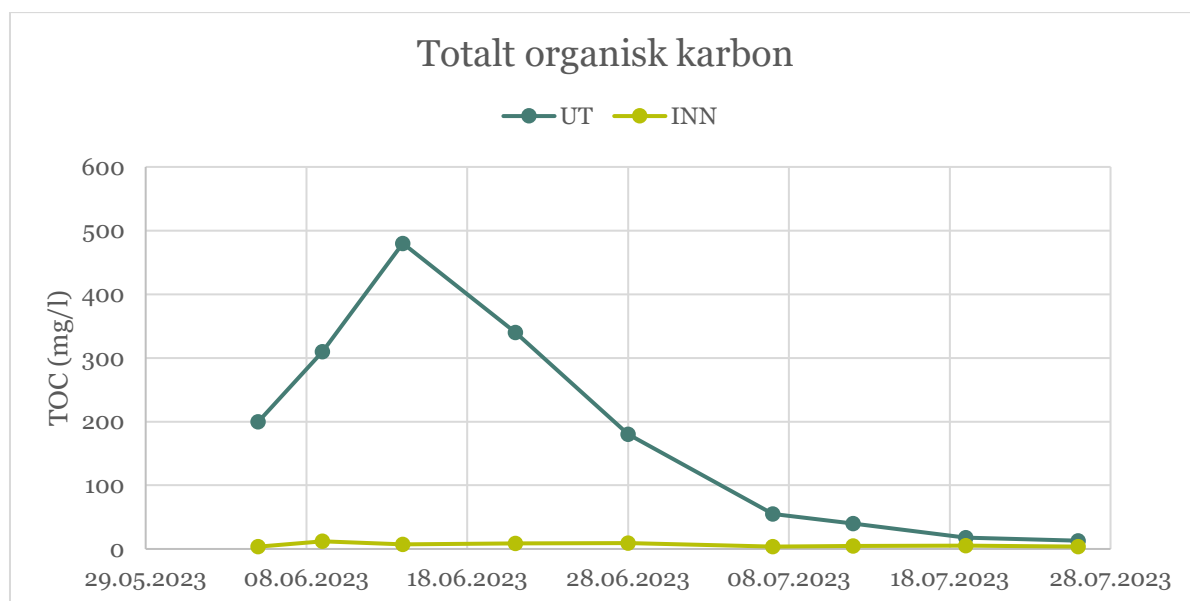


Figur 18. Konsentrasjoner av fosfor påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensfilter.

### 3.1.6 Totalt organisk karbon

Utløpsvannet fra filteret anrikes med totalt organisk karbon fra filtermaterialet. Som for fosfor avtok konsentrasjonen med mengde tunnelvann ført gjennom rensfilteret. Påviste konsentrasjoner UT av filteret varierte mellom 13 og 480 mg TOC/l (figur 19).

Tilført tunnelvann (INN) viste konsentrasjoner fra 3,6 til 12 mg TOC/l.



Figur 19. Konsentrasjoner av TOC påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensfilter.

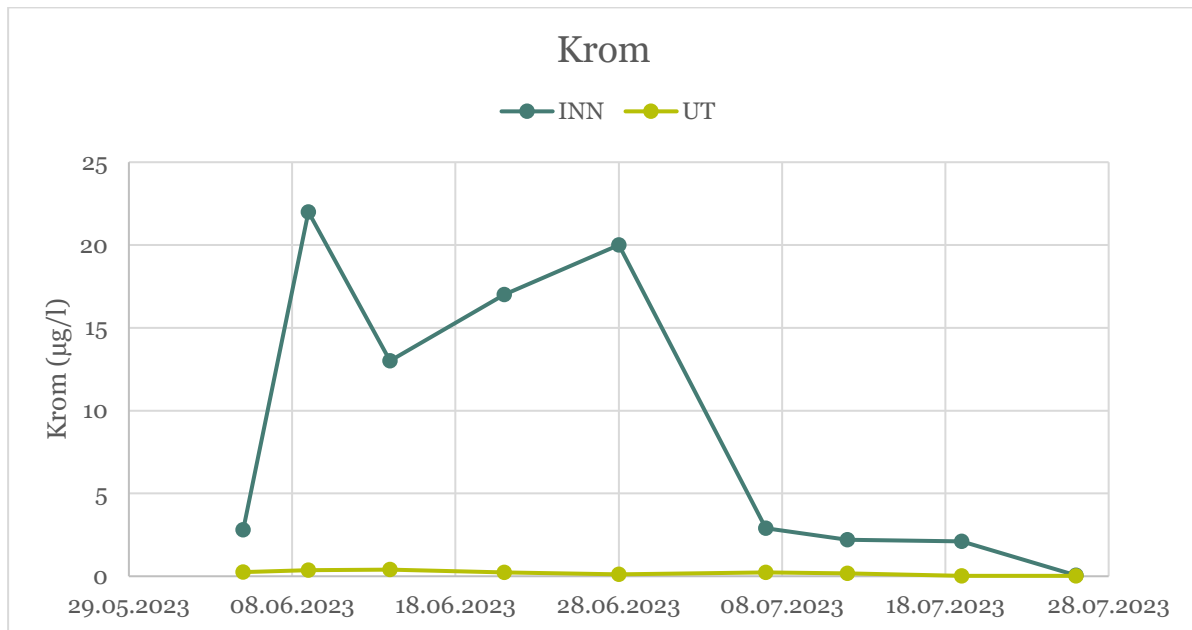


### 3.1.7 Krom

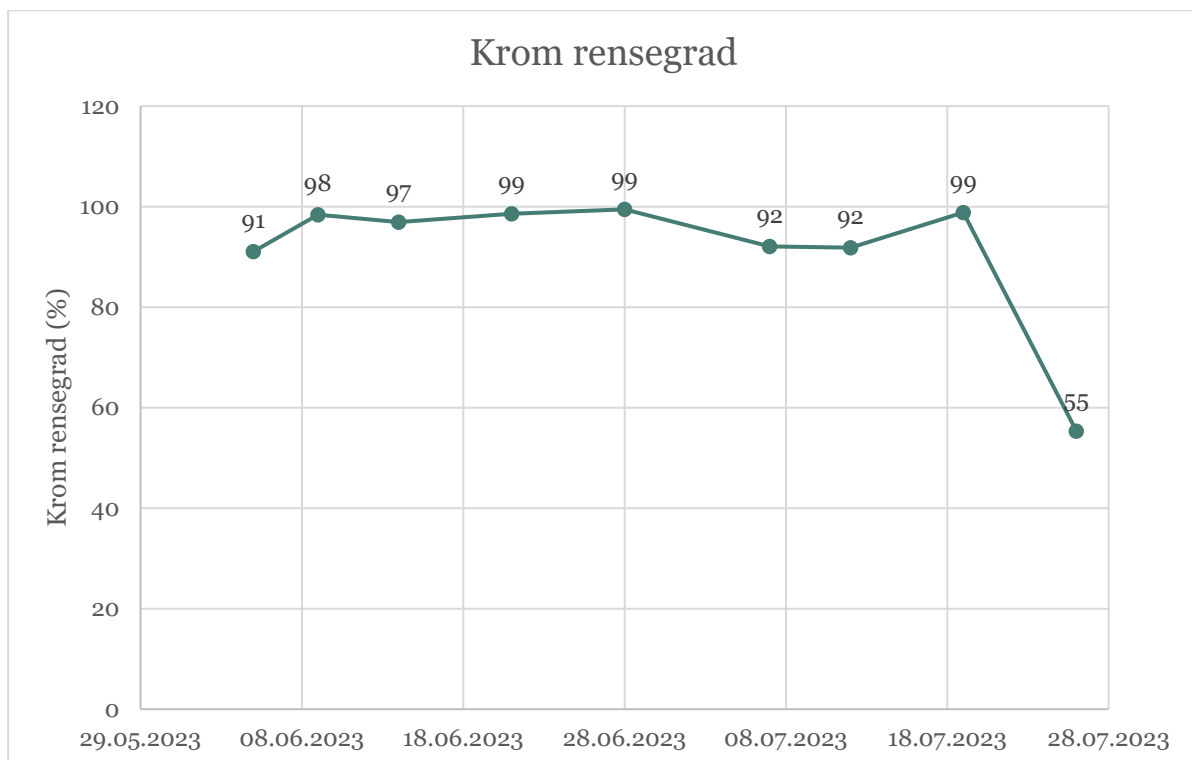
For krom varierte innløpskonsentrasjonene (INN) fra 0,1 til 22 µg/l (figur 20).

Utløpskonsentrasjonene (UT) varierte mellom 0,03 og 0,4 µg/l.

Resultatene indikerer en effektiv tilbakeholdelse av krom i filteret, der rensegrad for parvise prøver varierte fra 55 til 99 % (figur 21), med et gjennomsnitt på 91 %. Resultater fra Skanska har vist at tunnelvannet i hovedsak inneholdt seksverdig krom.



Figur 20. Konsentrasjoner av krom påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.



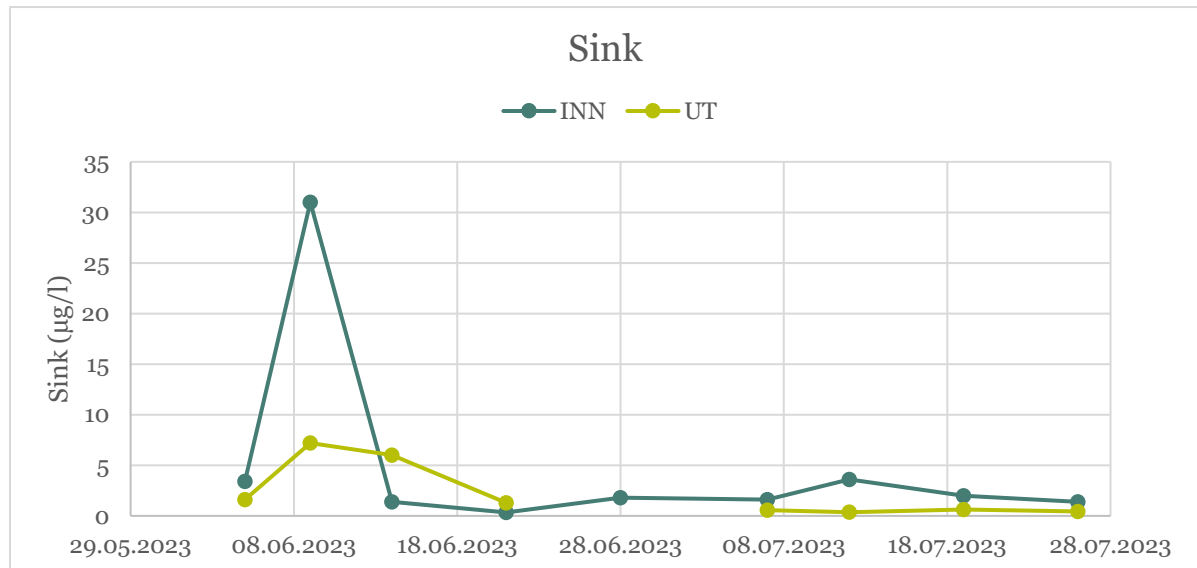
Figur 21. Rensegrad (%) for krom i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

### 3.1.8 Sink

For sink varierte innløpskonsentrasjonene (INN) fra 1,3 til 31 µg/l (figur 22).

Utløpskonsentrasjonene (UT) varierte mellom 0,4 og 7,2 µg/l. En verdi på 260 µg/l i UT ble antatt å være laboratoriefeil og ble fjernet fra datasettet.

Resultatene indikerer at det skjer en tilbakeholdelse av sink i filteret, men med varierende rensegrad.



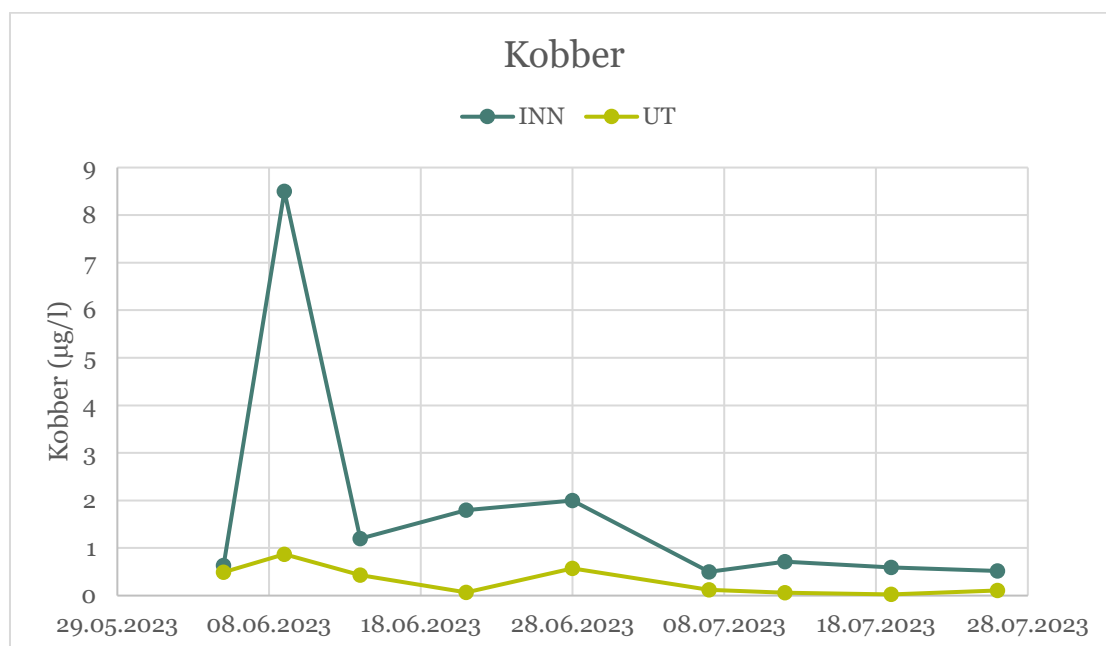
Figur 22. Konsentrasjoner av sink påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

### 3.1.9 Kobber og andre metaller

For kobber varierte innløpskonsentrasjonene (INN) fra 0,5 til 8,5 µg/l (figur 23).

Utløpskonsentrasjonene (UT) varierte mellom 0,03 og 0,9 µg/l.

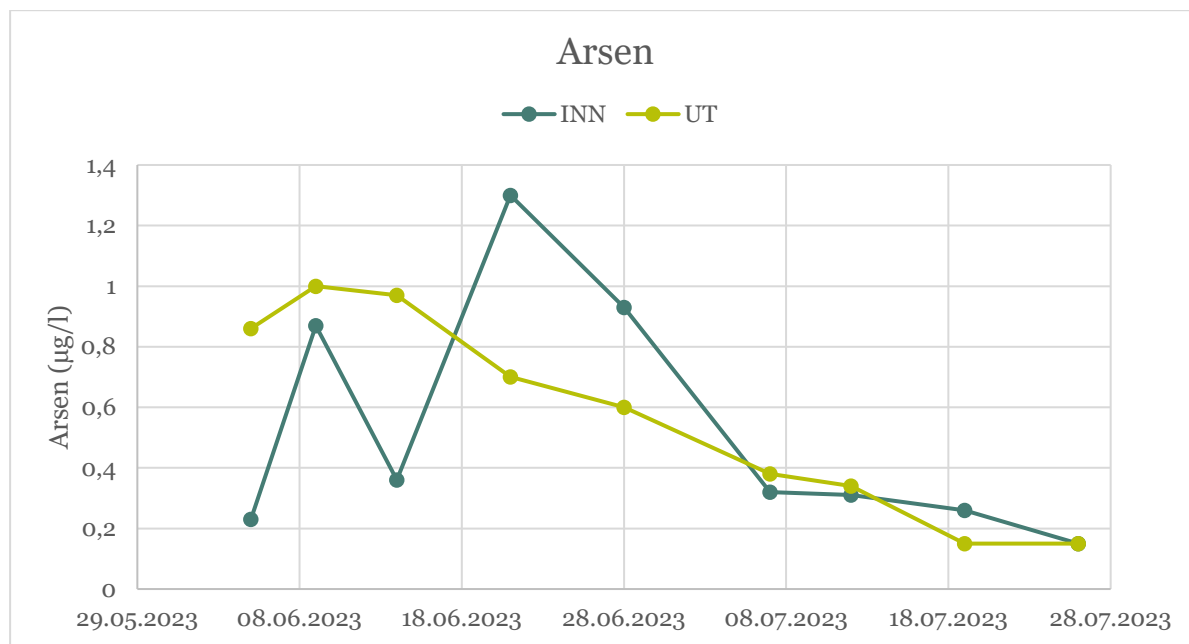
Deler av tilført kobber synes å bli fjernet i filteret.



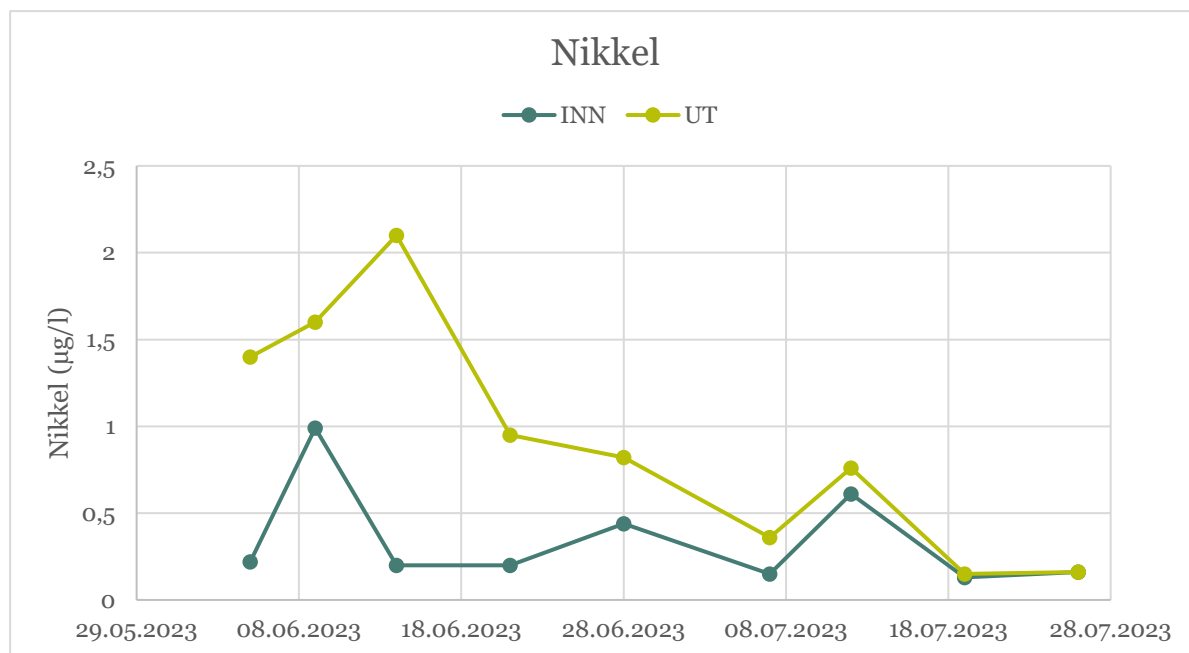
Figur 23. Konsentrasjoner av sink påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

For arsen varierte innløpskonsentrasjonene (INN) fra 0,2 til 1,3 µg/l (figur 24). Utløpskonsentrasjonene (UT) varierte mellom 0,2 og 1,0 µg/l. Filteret synes ikke å påvirke konsentrasjonene av arsen vesentlig. Det er ingen klare indikasjoner på hverken tilbakeholdelse eller mobilisering.

For nikkel varierte innløpskonsentrasjonene (INN) fra 0,2 til 1,0 µg/l (figur 25). Utløpskonsentrasjonene (UT) varierte mellom 0,2 og 2,1 µg/l. Filteret kan synes å mobilisere noe nikkel ved oppstart. Etter å ha vært i drift en stund, så synes det ikke som konsentrasjonene av nikkel påvirkes av filteret, hverken gjennom tilbakeholdelse eller mobilisering.



Figur 24. Konsentrasjoner av arsen påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.



Figur 25. Konsentrasjoner av nikkel påvist i parvise vannprøver fra innløp (INN) og utløp (UT) av rensefilter.

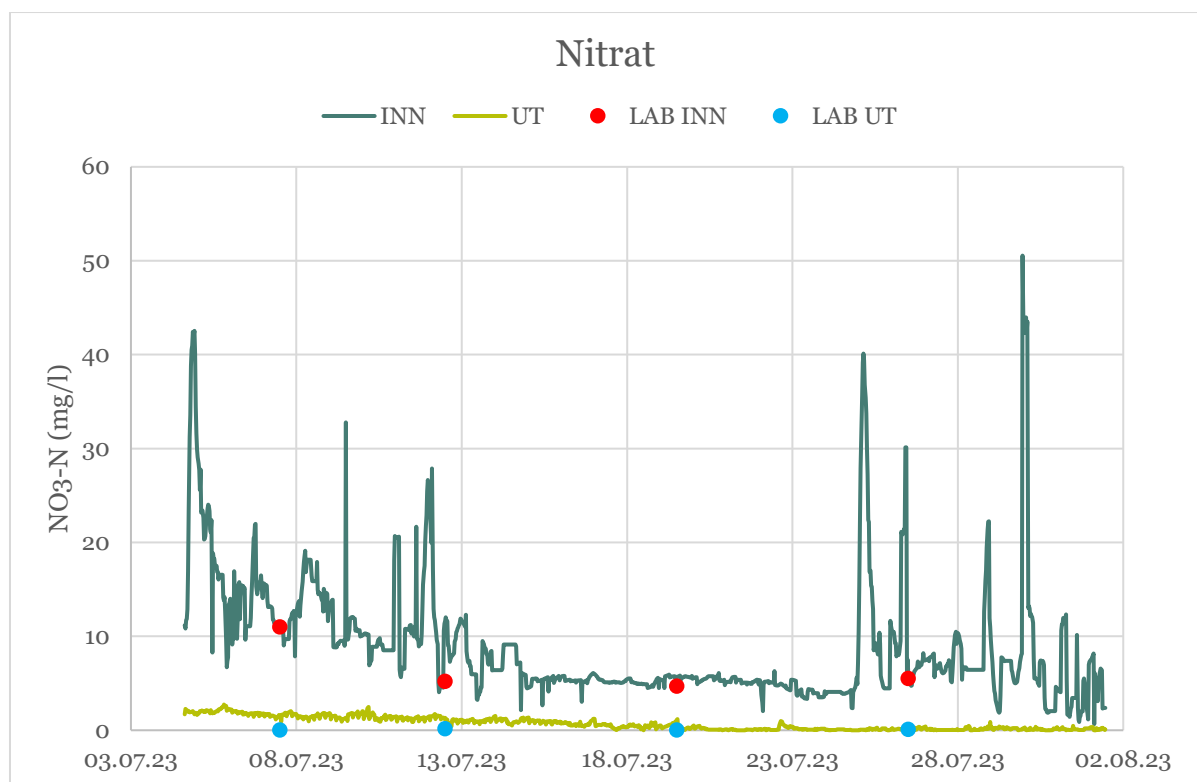
## 3.2 Automatiske målinger

### 3.2.1 Optiske nitratmålinger

Optiske nitratmålinger viste at nitrat i tilført tunnelvann i perioden 04.07 til 01.08.23 varierte fra 0,2 til 50,5 mg N/l (figur 26). I uke 29 (fra 14.07 til 24.07) viste tilført tunnelvann en relativt stabil nitratverdi rundt 5 mg N/l, sammenfallende med sommerferie på anlegget. Laboratorieanalysene av nitrat samsvarer godt med verdiene for optisk nitrat.

Ut av filteret varierte de optiske nitratverdiene fra <0,01 til 2,6 mg N/l. De høyeste verdiene ble målt samtidig med høye verdier av totalt organisk karbon (TOC). Vannprøven tatt ut 07.07.23 viste en TOC-verdi på 55 mg/l, noe som erfaringsmessig overestimerer nitrat med ca. 1,5 mg N/l.

Laboratoriemålingene av nitrat viste lave verdier i utløpet (UT), og alltid under 0,2 mg N/l.



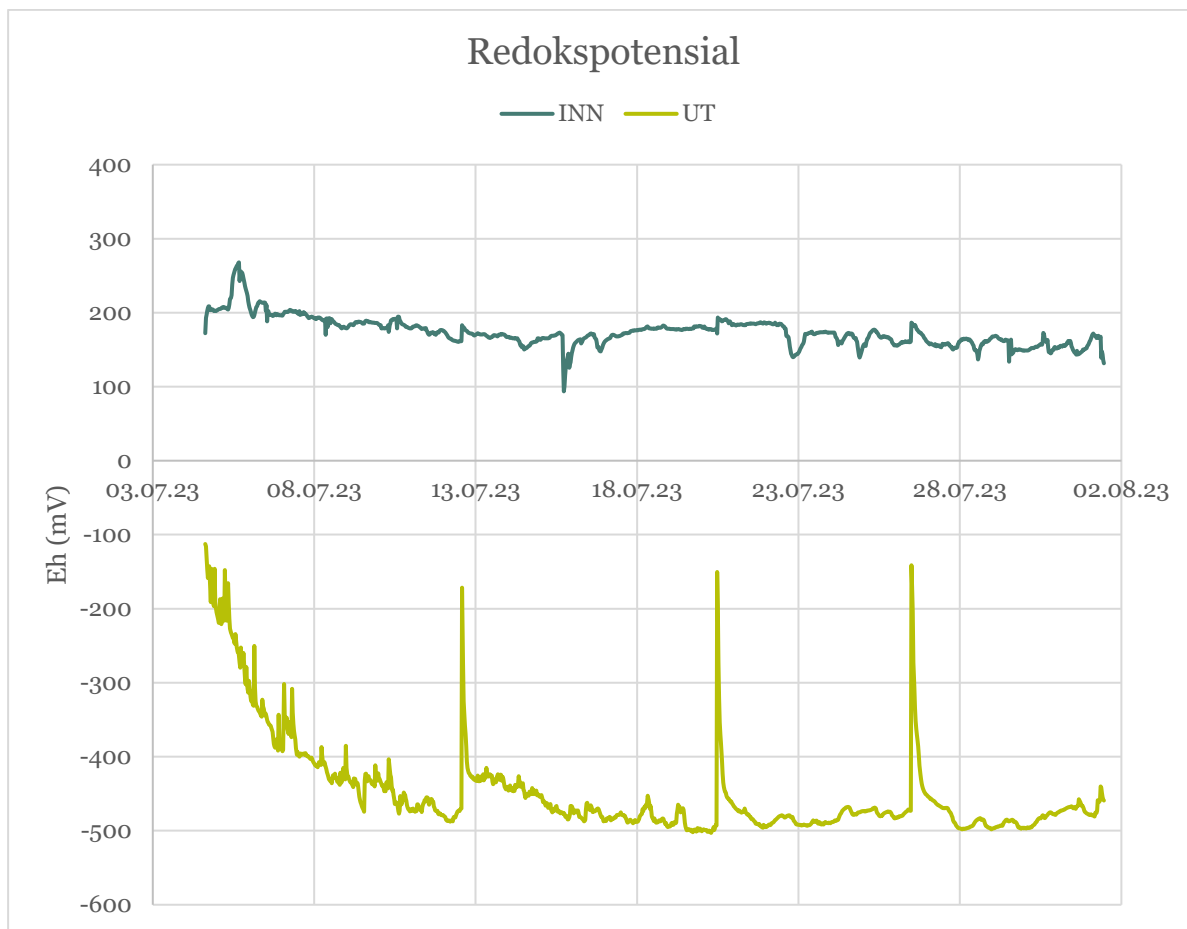
Figur 26. Optisk nitrat i tilført tunnelvann (INN) og ut av rensefilter (UT).

### 3.2.2 Redokspotensial (Eh)

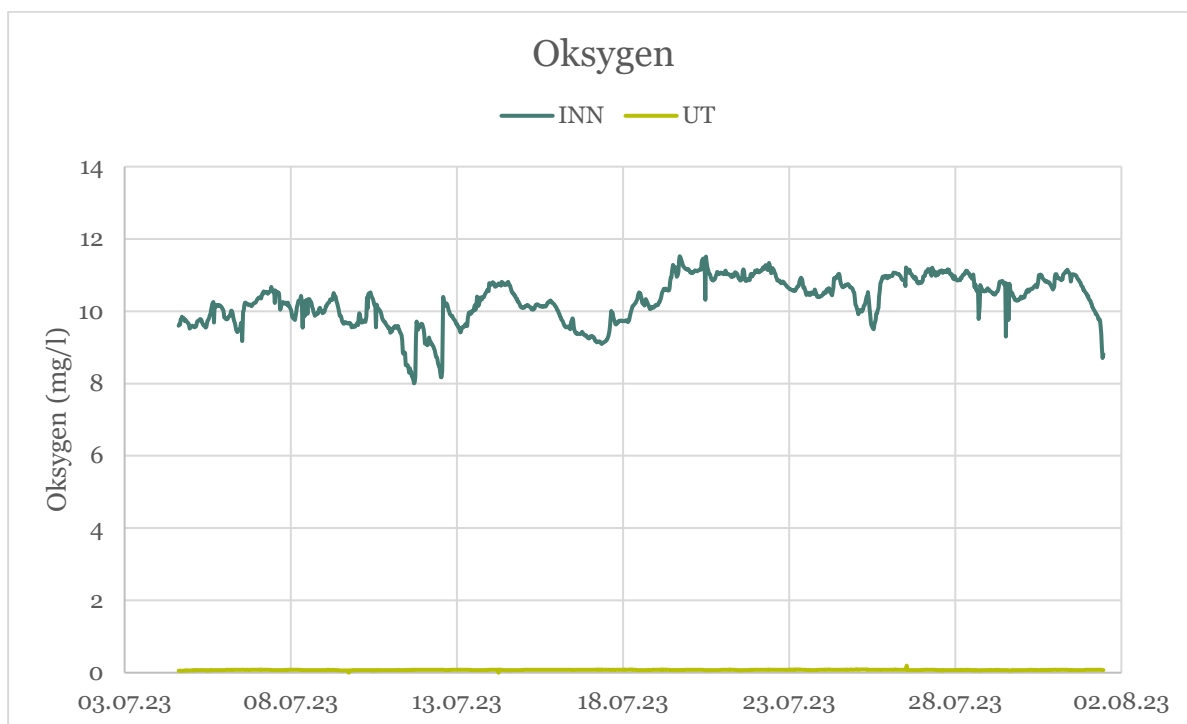
De automatiske målinger av redokspotensial (Eh) i tilført tunnelvann viste verdier mellom 94 og 267 mV (figur 27). Utløp fra rensefilteret viste Eh-verdier fra – 110 til – 500. Eh økte ved vedlikehold av sondene, men stabiliserte seg raskt igjen med lave verdier. Målingene dokumenterer at utløpsvannet fra filteret har stabilt reduserte forhold med Eh-verdier mellom – 400 og – 500 mV.

### 3.2.3 Optisk oksygen

Tilført tunnelvann viste et høyt innhold av oksygen varierende fra 8 til 11,5 mg/l (figur 28). Renset vann ut fra rensefilteret viste lave oksygenverdier nær null. Ved vedlikehold ble det registrert enkeltverdier med høyere konsentrasjon, men disse verdiene har blitt fjernet. I praksis er utløpsvannet helt redusert og fritt for oksygen.



Figur 27. Redokspotensial (Eh) i tilført tunnelvann (INN) og ut av rensefilter (UT).

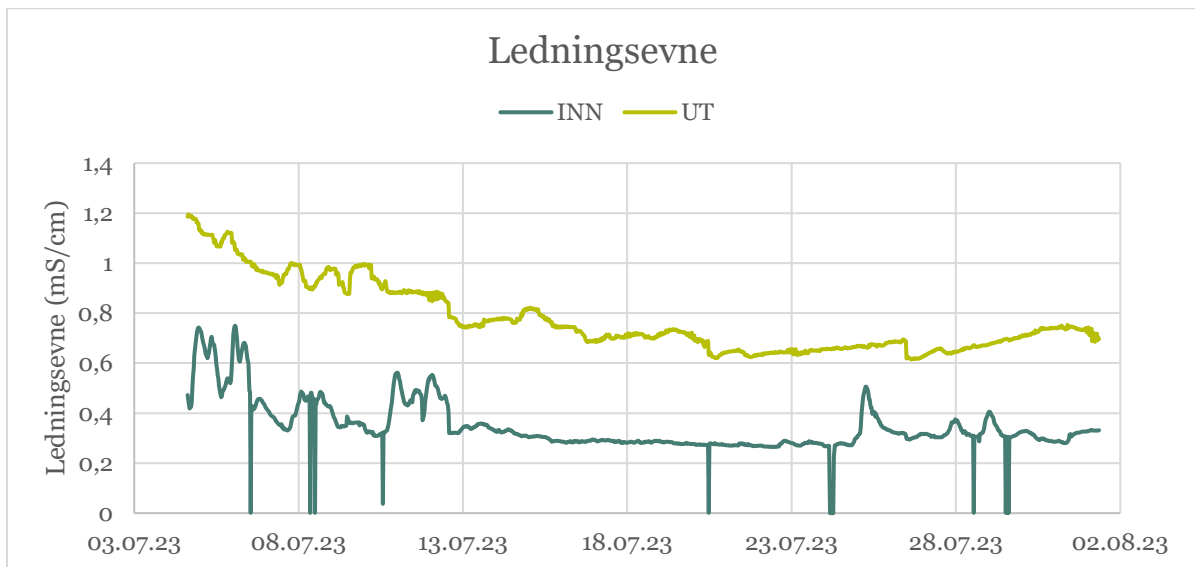


Figur 28. Oksygenkonsentrasjon i tilført tunnelvann (INN) og ut av rensefilter (UT).

### 3.2.4 Ledningsevne

Ledningsevnen i tilført tunnelvann (INN) har variert mellom 0,25 og 0,75 mS/cm (figur 29). I noen korte tidsrom stod ledningsevnemåleren tørr, da vannstanden i containeren var for lav. Disse periodene registreres med null i ledningsevne.

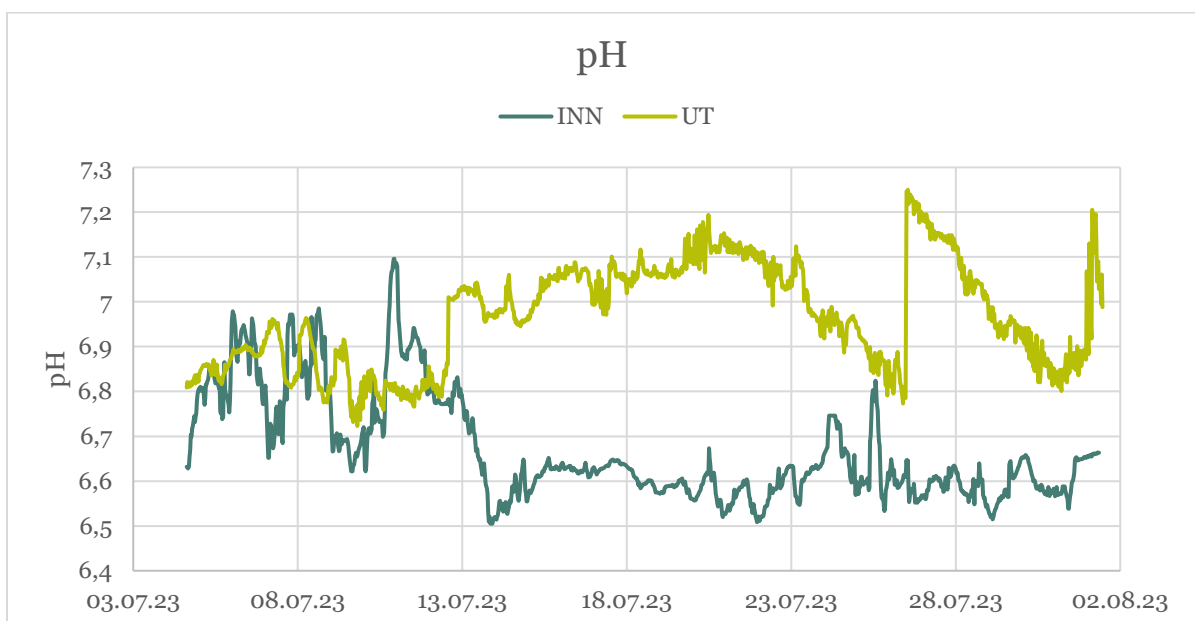
Ledningsevnen ut av rensefilteret var gjennomgående høyere enn i tilført tunnelvann, og varierte mellom 0,6 og 1,2 mS/cm.



Figur 29. Ledningsevne i tilført tunnelvann (INN) og ut av rensefilter (UT).

### 3.2.5 pH

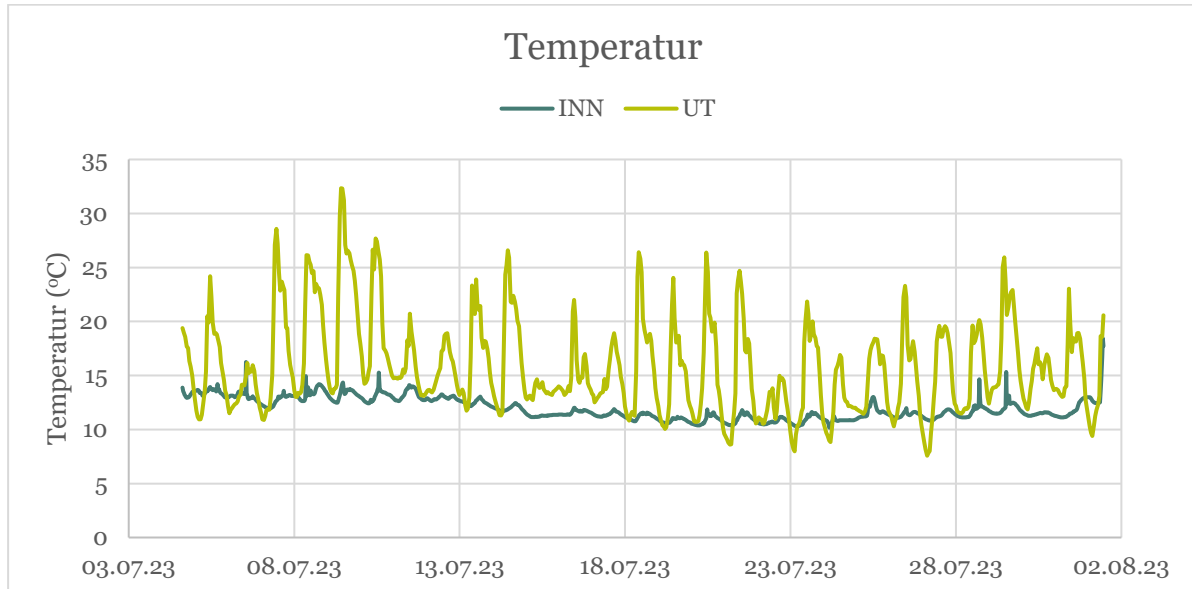
pH i tilført tunnelvann (INN) har variert mellom 6,5 og 7,1 (figur 30). pH ut av rensefilter (UT) har variert mellom 6,7 og 7,2. For store deler av forsøket har det vært høyere pH ut av rensefilteret enn i tilført tunnelvann.



Figur 30. pH i tilført tunnelvann (INN) og ut av rensefilter (UT).

### 3.2.6 Temperatur

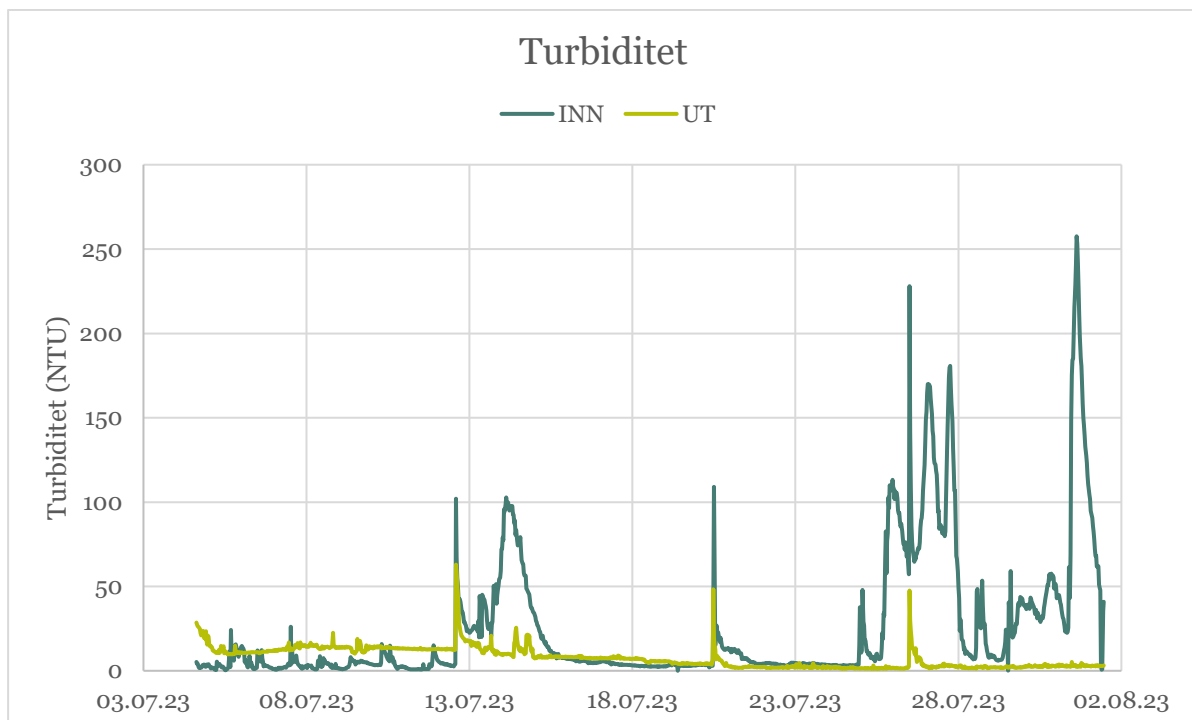
Temperatur i tilført tunnelvann varierte fra 10 til 15,5 °C (figur 31). Renset vann i utløpskaret av svart plast viste store døgnvariasjoner i temperatur, og verdier fra 7,5 til 32 °C. Utløpskaret og filtercontaineren var påvirket av solinnstråling.



Figur 31. Temperatur i tilført tunnelvann (INN) og ut av rensefilter (UT).

### 3.2.7 Turbiditet

Turbiditet i tilført tunnelvann (INN) varierte mye, fra litt over null til over 250 NTU (figur 32). Renset tunnelvann (UT) viste mindre variasjon, fra under 1 til 63 NTU. Tilført tunnelvann viste høy turbiditet mot slutten av tunneldrivinga.



Figur 32. Turbiditet i tilført tunnelvann (INN) og ut av rensefilter (UT).

## 4 Tidligere forsøk med rensing av tunnelvann

### 4.1 Formål og organisering

I perioden 20. – 27.06.22 ble det gjort forsøk med rensing av tunnelvann i det nedre nitrogenfilteret (F2) til fullskala renseanlegg for nitrogen i Nordlandsdalen. Forsøket ble planlagt og iverksatt av NIBIO, Statens vegvesen og Skanska og utført som en del av masteroppgavene til Manh-Tien Buy og Magnus Evang. Resultatene er tidligere omtalt i NIBIO-rapport 9(52)23 (Roseth mfl. 2023) samt masteroppgavene til Buy og Evang (Buy 2023 og Evang 2023). Deler av resultatene er omtalt på nytt her, da det gir supplerende informasjon til gjennomført pilotforsøk. Metallanalysene fra forsøket har ikke blitt presentert tidligere. Gjennomføring og analyser er betalt av Statens vegvesen, og publisering i denne rapporten skjer i forståelse med SVV.

Målsettingen var å utføre et innledende forsøk for å klarlegge om nitrogenfilteret kunne rense anleggsvann fra tunneldriving av Sollihøgdatunnelen. I tillegg var det et ønske om å prøve ut rensegraden for nitrogenfiltrene under stabil hydraulisk belastning med høye konsentrasjoner av nitrogen.

### 4.2 Gjennomføring

Normaltilførselen av avrenning fra rensedammen til nitrogenfilter F2 ble avsluttet 16.06.22, ved at klaffeventilen i regulatorkummen ble stengt. Det ble gjort visuell kontroll av at vanntilførselen til filteret opphørte.

Tunnelvann (figur 33) ble tilført innløpet til F2 fra en 22 m<sup>3</sup> container. Det var daglig påfylling av tunnelvann til containeren. Tunnelvannet var rensert for partikler og pH-justert, men hadde nitrogenkonsentrasjoner opp mot 50 mg/l. Tunnelvannet ble hentet fra utslippspunkt for partikkelrenset og pH-justert anleggsvann fra Sollihøgdtunnelen med vanningsvogn og traktor.

Tilførselen av tunnelvann til filteret skjedde med selvføll etter hevertprinsippet, og tilført vannmengde var 10 liter per minutt. Mengden ble justert inn ved hjelp av en ventil på utslippsslangen, og ble kontrollmålt daglig. Tilført vannmengde var stabil gjennom hele forsøket, og tilsvarte 15 m<sup>3</sup> tunnelvann i døgnet. Samlet mengde tunnelvann tilført rensefilteret gjennom 7 døgn var ca. 100 m<sup>3</sup>.



Figur 33. Renset tunnelvann fra Sollihøgdtunnelen som ble anvendt i doseringsforsøket.



### 4.3 Mengde filtermateriale og teoretisk oppholdstid

Samlet mengde filtermateriale i nedre nitrogenfilter er ca. 150 m<sup>3</sup>. Av dette antas det at ca. 110 m<sup>3</sup> er vannfylt og hydraulisk aktivert, mens ca. 40 m<sup>3</sup> tjener som umettet overdekking og isolasjon. Danske forsøk har vist at slike filtermaterialer har en porøsitet på 60 %, eller i dette tilfellet 66 m<sup>3</sup>. Alt vann i filteret skulle dermed være skiftet ut i løpet av 4,5 døgns belastning. I praksis indikerte de automatiske målingene at filteret hadde en varierende oppholdstidsfordeling, der deler av filteret hadde rask gjennomstrømning, mens andre deler hadde lengre oppholdstid.

### 4.4 Automatiske målinger og vannprøver

Det ble utført automatiske målinger i inn- og utløpskum gjennom hele forsøket. Begge målepunkter hadde sensorer som omfattet optisk nitrat, redoks (Eh), optisk oksygen, ledningsevne, pH, vanntemperatur og vannhøyde. Målingene ble utført hver halvtime og data ble overført til nettbasert database daglig.

Vannprøver ble tatt en eller to ganger daglig fra inn- og utløpskum. Vannprøvene ble analysert for Tot N, nitrat, ammonium, nitritt, Tot P, DOC, klorid, sulfat og filtrerte miljøfokuserete metaller. Vannprøven ble analysert av Eurofins. De ble frosset ned før levering og levert samlet i to omganger.

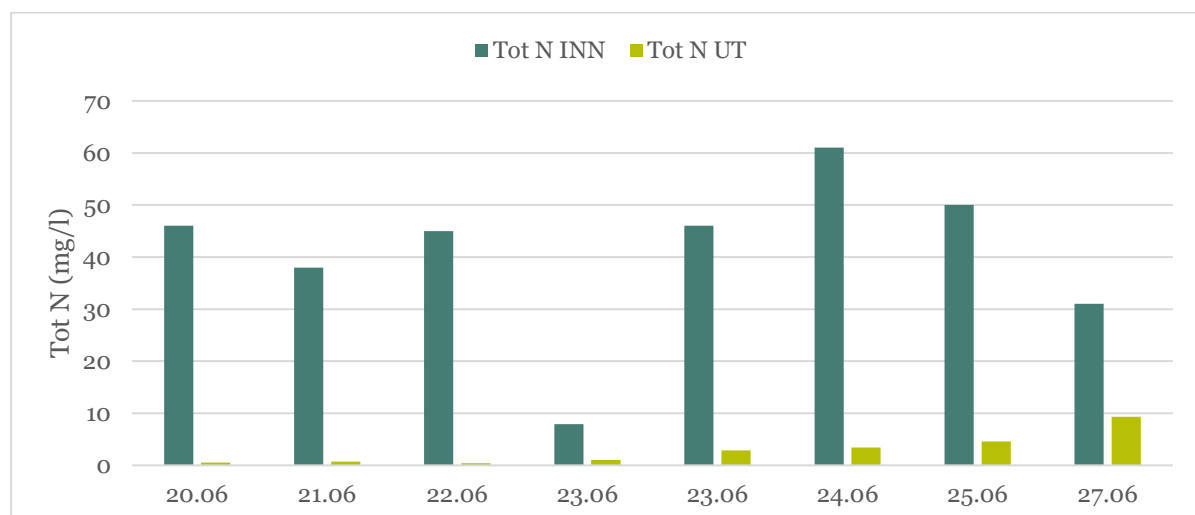
### 4.5 Resultater

#### 4.5.1 Totalnitrogen

Innløpskonsentrasjonene av Tot N i tunnelvann tilført filteret viste en daglig variasjon, fra 8 til 61 mg/l (figur 34). Tunnelvannet som ble tilført 23.06 viste en uvanlig lav konsentrasjon. Ellers varierte konsentrasjonen mellom 31 og 61 mg/l.

Utløpskonsentrasjonene varierte fra 0,5 til 9,1 mg/l, med den laveste konsentrasjonen i starten og den høyeste ved slutten av forsøket.

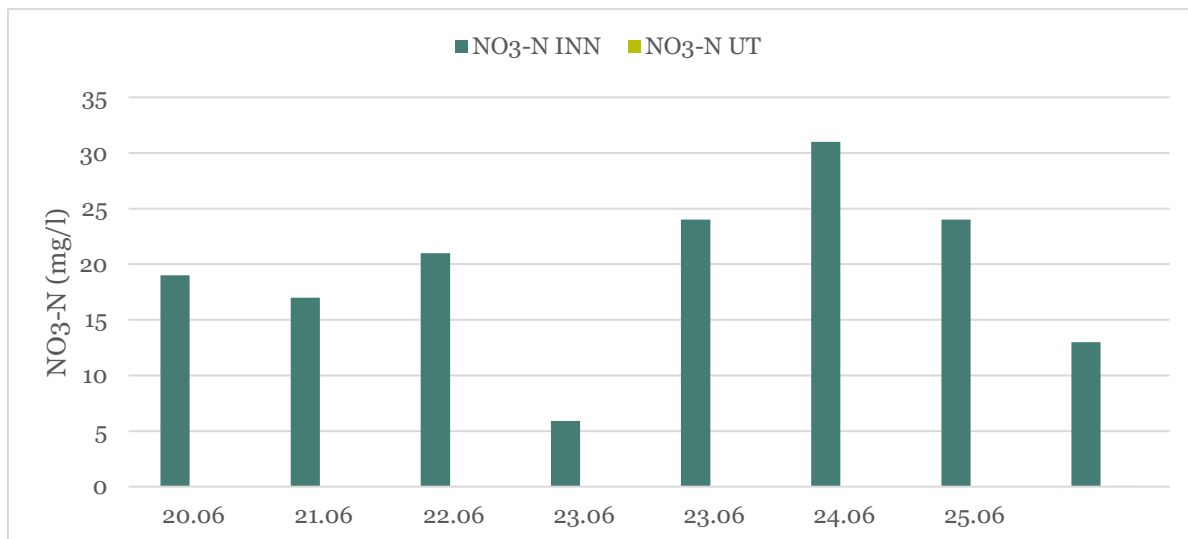
Basert på vurderinger av filterets porøsitet og oppholdstid, så skulle vannet i filteret være fullstendig utskiftet med tunnelvann 24.06, og resultatene 24. til 27.06 skal dermed beskrive oppnådd rensegrad for Tot N. Middelkonsentrasjonen for tilført Tot N i perioden 20. til 26.06 var 42 mg/l. Midlere utløpskonsentrasjon i perioden 24. til 27.06 var 5,8 mg/l. Det indikerer en rensegrad i størrelsesorden 86 % for Tot N.



Figur 34. Inn- og utløpskonsentrasjoner av Tot N under doseringsforsøk med tunnelvann.

## 4.5.2 Nitrat

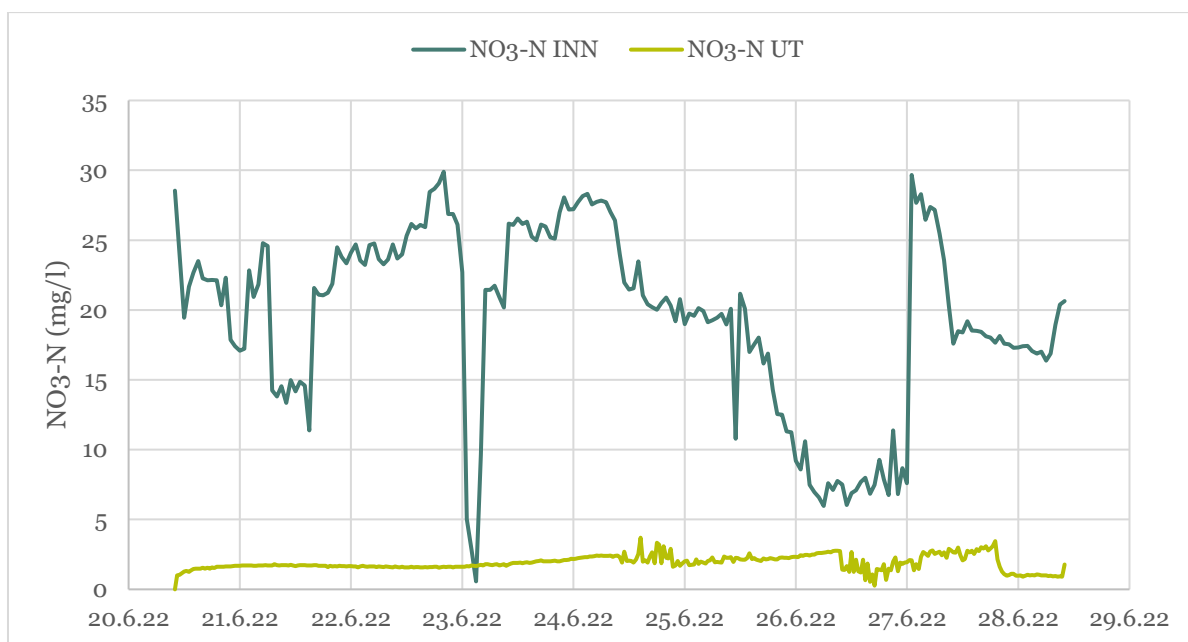
Innløpskonsentrasjonene av nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) varierte fra 5,9 til 31 mg/l, og med et gjennomsnitt på 19 mg/l (figur 35). Det ble ikke påvist nitrat i utløpet av filteret, noe som indikerer at alt tilført nitrat ble fjernet gjennom denitrifikasjon.



Figur 35. Inn- og utløpskonsentrasjoner av nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) under doseringsforsøk med tunnelvann.

## 4.5.3 Automatiske målinger av optisk nitrat

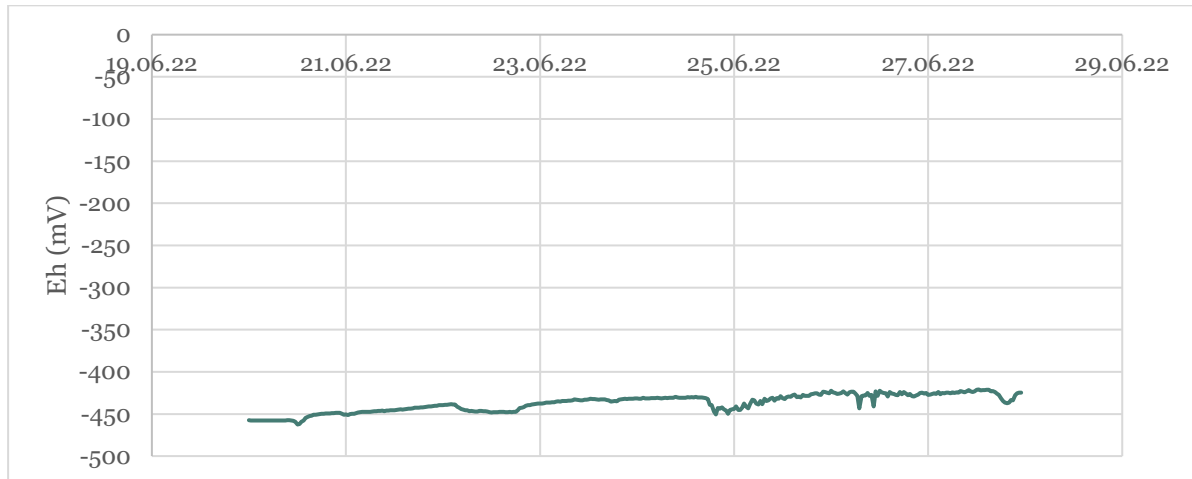
De automatiske målingene av optisk nitrat i innløpet til F2 bekrefter analyseverdiene for nitrat (figur 36). I utløpet ble det tilsynelatende målt mellom 1 og 4 mg nitrat/l, men det er feilmålinger der de optiske målingene forstyrres av en forhøyet konsentrasjon av organisk stoff i utløpsvannet fra filteret.



Figur 36. Optisk målt nitrat i inn- og utløpskum til nitrogenfilter under doseringsforsøk med tunnelvann.

#### 4.5.4 Redoksforhold ved utløp av nitrogenfilteret gjennom forsøket

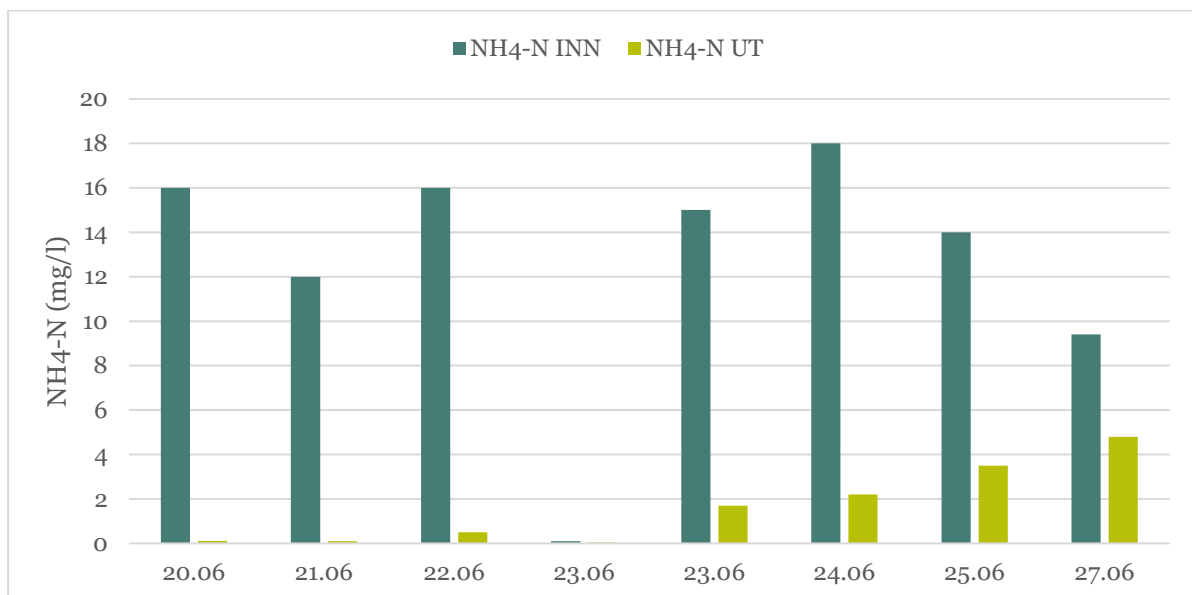
Automatiske målinger av redoksforhold (Eh) ved utløpet av filteret viste lave verdier fra -462 til -421 mV gjennom forsøksperioden (figur 37). Verdiene indikerer sterkt reduserende forhold der nitrat raskt vil bli denitrifisert. Utløpsvannet fra filteret viste konsentrasjoner av løst organisk stoff (DOC) på nærmere 40 mg/l, noe som indikerer at det er nok organisk stoff til å opprettholde sterkt reduserende forhold i filteret.



Figur 37. Redoksforhold (Eh) i utløpskummen til nitrogenfilteret under doseringsforsøket.

#### 4.5.5 Ammonium

Verdiene av ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) i tilført tunnelvann varierte mellom 0,1 og 18 mg/l (figur 38), og med en snittverdi på 12,6 mg/l. Sammenligner vi snittverdiene for nitrat og ammonium utgjorde nitrat 60 % og ammonium 40 % av summen av nitrat og ammonium. Det samsvarer med forventet forhold mellom nitrat og ammonium i ferskt tunnelvann (Vikan 2013). Midlere utløpskonsentrasjon av ammonium i perioden 24. til 27.06 var 3,5 mg/l. Rensegrad for ammonium er dermed i størrelsesorden 70 %.



Figur 38. Inn- og utløpskonsentrasjoner av ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) under doseringsforsøk med tunnelvann.

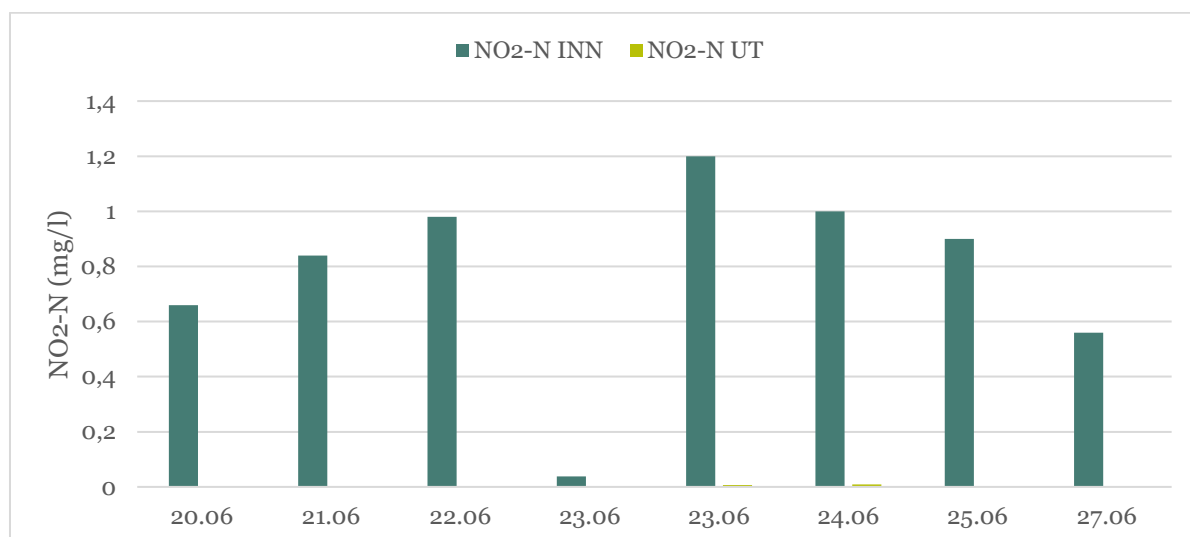
Med sterkt reduserende forhold i nitrogenfilteret, så forventes det ingen eller liten rensing av ammonium. Risteforsøk har imidlertid dokumentert at filtermaterialet har bindingskapasitet for ammonium, noe som bidrar til å forklare at utløpet har lavere konsentrasjoner enn innløpet.

En annen mulighet for fjerning av ammonium under anaerobe forhold er anammox-bakterier som oksiderer ammonium til N<sub>2</sub> gass ved hjelp av elektroner fra nitritt (NO<sub>2</sub>-N). Dette er en interessant prosess der kjemolitotrofe bakterier omsetter ammonium til nitrogengass uten tilsats av organisk materiale:  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

Det har blitt tatt ut prøver av utløpsvann fra filtrene for sekvensering og bestemmelse av bakterietyper i filteret, som kan bidra til å avdekke om filteret inneholder anammox-bakterier samt hvilke hovedtyper av bakterier som dominerer.

#### 4.5.6 Nitritt

Tilført tunnelvann inneholdt varierende konsentrasjoner av nitritt (NO<sub>2</sub>-N), fra 0,04 til 1,2 mg/l (figur 39). Snittkonsentrasjonen var 0,8 mg/l. Det ble ikke påvist nitritt i prøvene tatt i utløpet av nitrogenfilteret.



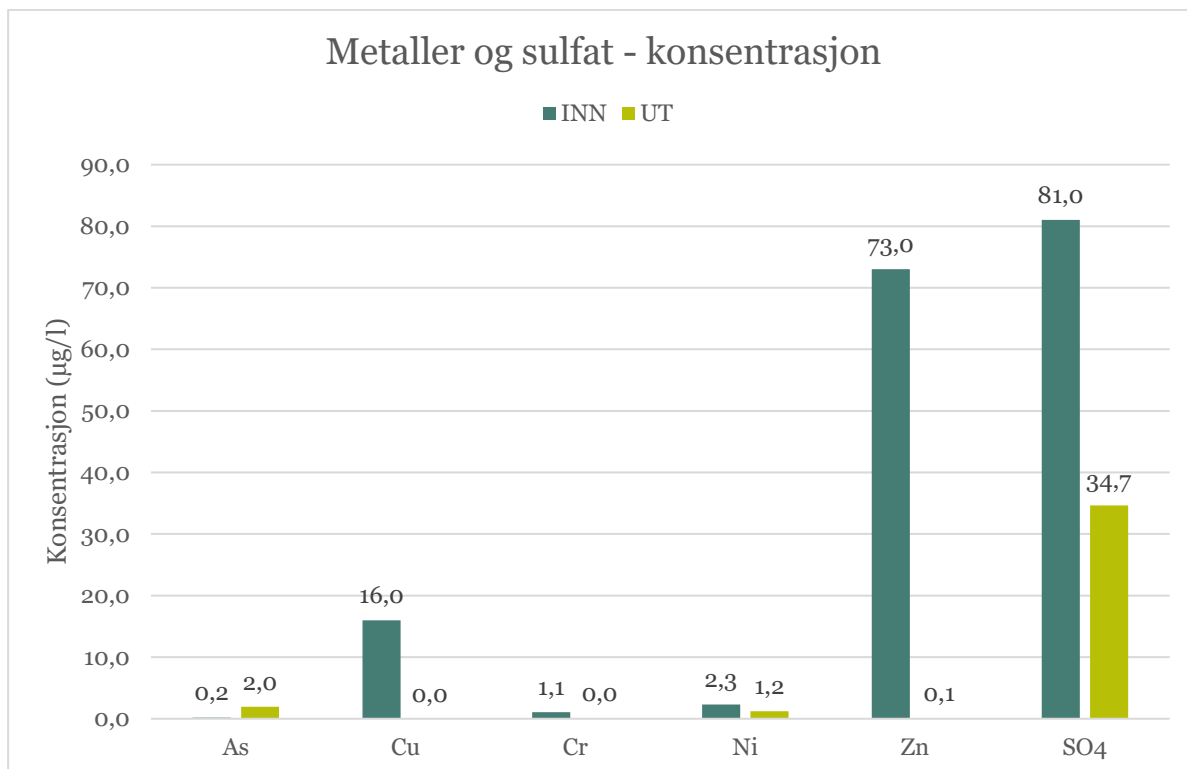
Figur 39. Inn- og utløpskonsentrasjoner av nitritt (NO<sub>2</sub>-N) under doseringsforsøk med tunnelvann.

#### 4.5.7 Metaller, sulfat og olje

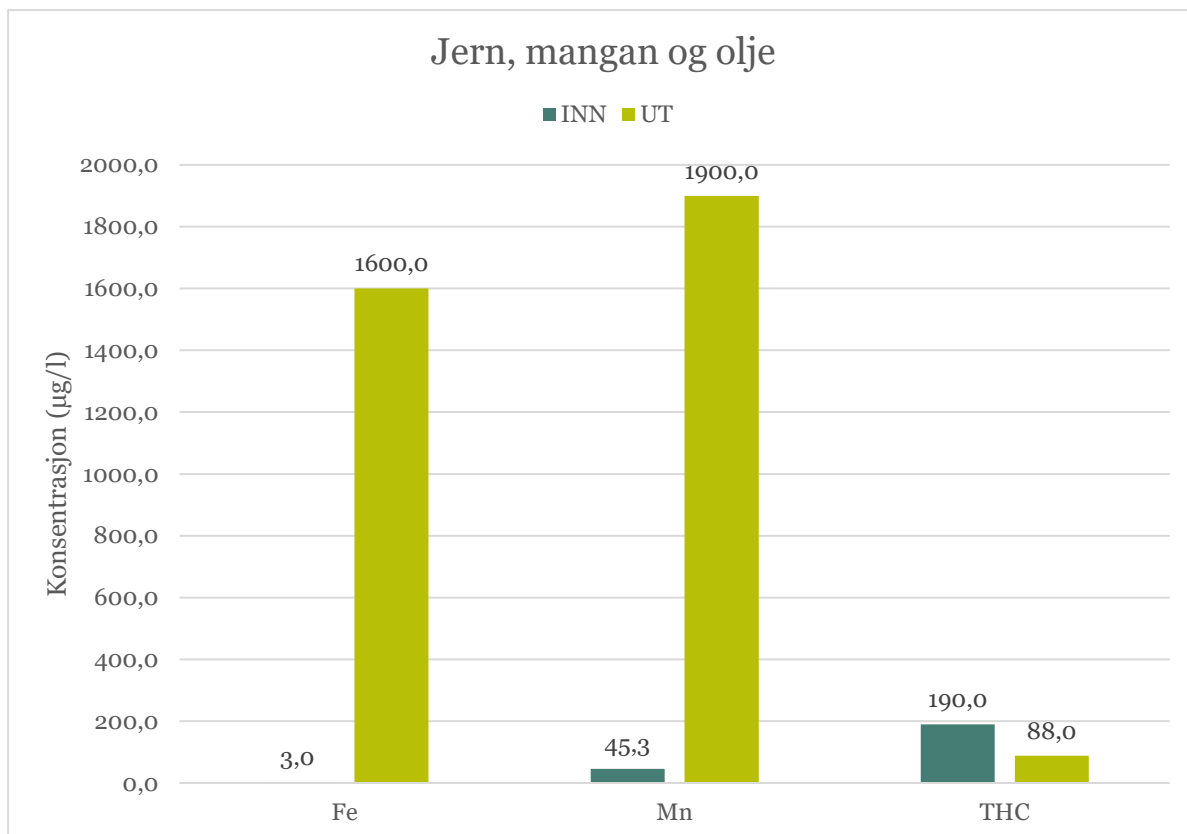
Resultatene indikerer at sink og kobber ble effektivt fjernet i rensefilteret (figur 40). Tilsvarende gjaldt for krom, men det var lite krom i tilført tunnelvann. Noe av tilført nikkel ble også fjernet. Arsen ble tydelig anrikt gjennom rensefilteret.

Mengden sulfat i tilført tunnelvann ble redusert gjennom rensefilteret, noe som kan ha sammenheng med omdanning til sulfid under sterkt reduserende forhold. Dannelse av sulfid kan bidra til å fjerne metaller gjennom sulfidbinding, og er en av flere forklaringsvariabler for fjerning av sink, kobber og krom.

De reduserende forholdene i filteret bidrar til at jern og mangan blir mobilisert (figur 41). Utløpet fra rensefilteret inneholdt vesentlig mer jern og mangan enn det som ble tilført med tunnelvannet. Oljeforbindelser (THC) tilført med tunnelvannet ble noe fjernet i rensefilteret.



Figur 40. Inn- og utløpskonsentrasjoner av metaller og sulfat. Innløp er middelvei for tunnelvann for tre prøver. Utløp er middelvei for to prøver mot slutten av forsøket.



Figur 41. Inn- og utløpskonsentrasjoner av jern, mangan og olje. Innløp er middelvei for tunnelvann for tre prøver. Utløp er middelvei for to prøver mot slutten av forsøket.

## 5 Diskusjon og vurderinger

### 5.1 Rensegrad for nitrogen

Resultatene viste at rensfilteret fjernet alt nitrat som blir tilført med tunnelvannet. Denitrifikasjon antas å være hovedprosessen for nitrogenfjerning, men noe vil også bindes i biomasse. Flishogd materiale har et høyt C/N-forhold som bidrar til binding av nitrogen.

Forsøket ble kjørt med en innledende hydraulisk belastning på 720 liter tunnelvann per døgn (05.06-04.07) og en avsluttende hydraulisk belastning på 1440 liter tunnelvann per døgn (04.07-31.07.23). Tilført tunnelvann viste vesentlig lavere konsentrasjoner av nitrogen i den siste perioden, med en middelvei på ca. 10 mg Tot N/l. I den første perioden var middelveien på ca. 35 mg Tot N/l.

Optimalt burde pilotfilteret ha blitt testet med høyere konsentrasjoner av nitrogen og større hydraulisk belastning for å klarlegge maksimal renskapasitet for nitrogen. Hydraulisk belastning og målte konsentrasjoner av nitrogen tilsvarer en nitrogenfjerning på 2-7 gram nitrogen per m<sup>3</sup> filtermasse og døgn. Maksimal fjerning må antas å være betydelig høyere. I et innledende forsøk med nitrogenfjerning i slike filtre (Roseth og Skrutvold 2022) ble det oppnådd en maksimal fjerning på 23 gram nitrogen per m<sup>3</sup> filtermasse og døgn.

Forsøket gir ikke grunnlag for å vurdere maksimal hydraulisk belastning av filterløsningen, men det antas å kunne oppnås nitrogenrensing ved teoretisk oppholdstid ned til 1 døgn. Det tilsvarer en hydraulisk belastning på 500 l tunnelvann per m<sup>3</sup> filtermasse og døgn. Rensing av tunnelvann fra en stuff (antatt vannmengde 2 l/s) vil i så fall kreve et nitrogenfilter med 350 m<sup>3</sup> filtermasse. Dersom en regner en maksimal kapasitet for nitrogenfjerning på 30 g nitrogen per m<sup>3</sup> filtermasse og døgn, så vil et filter på 350 m<sup>3</sup> kunne fjerne ca. 10 kg N per døgn. Til sammenligning vil tunnelvann tilføre renseløsningen 8,7 kg N per døgn gitt en middelkonsentrasjon på 50 mg Tot N per liter og en midlere vannmengde på 2 l/s.

**Vurderingene ovenfor er høyst usikre, og potensialet for praktisk nitrogenrensing må vurderes nærmere gjennom et fullskala rensforsøk for tunnelvann.**

Automatiske målinger av redokspotensial (Eh) gir oversikt over betingelsene for nitrogenfjerning gjennom denitrifikasjon. Oppnådd nitrogenfjerning klarlegges gjennom automatisk måling av optisk nitrat. Måling av pH, ledningsevne, vanntemperatur og hydraulisk belastning kompletterer forståelsen av rensprosesser og drift av biofilteret for nitrogenfjerning.

Slike målinger gir grunnlag for å optimalisere den hydrauliske belastningen av filteret slik at det fjernes mest mulig nitrogen samtidig som utløpsvannet laker ut minst mulig organisk stoff og fosfor.

### 5.2 Fjerning av ammonium

Pilotfilteret ble noe tilrettelagt for nitrifikasjon av ammonium ved forbehandling av tilført tunnelvann i «nitrifikasjonsrør» med umettet strømming og god tilgang på oksygen. Det er usikkert om oppnådd fjerning av ammonium skjer i som følge av nitrifikasjon eller som følge av sorpsjon til filtermateriale og opptak i biomasse, eller en kombinasjon av disse. Det kan også skje gjennom en anammox prosess (Szatkowska og Paulsrud 2014) i selve filteret, som gir en kombinert fjerning av ammonium og nitrat uten behov for tilførsel av organisk stoff.

Det var noe lavere fjerning av ammonium mot slutten av forsøket. Med økende hydraulisk belastning og økende N-konsentrasjoner, så antas det en gradvis avtakende rensgrad for ammonium.

## 5.3 Nitritt

Konsentrasjon av nitritt tilført med tunnelvannet varierte mellom 0,6 og 1,6 mg NO<sub>2</sub>-N/l. Tilført nitritt er sannsynligvis dannet under begynnende nitrifikasjon av ammonium i tunnelen. I utløpet av biofilteret ble var nitritt under eller nær deteksjonsgrensen. Resultatene viste at det skjedde en tilnærmet fullstendig fjerning av nitritt i rensefilteret.

Erfaringer med rensefilteret for fjerning av nitrogen tilført med avrenning fra vegfylling i Nordlandsdalen (Roseth mfl. 2023) har vist at det at det tidvis kan dannes nitritt i rensefilteret.

Utslipp av forhøyede konsentrasjoner av nitritt kan gi akutte og kroniske effekter på ørret og laks. I oppdrett er det anbefalt at konsentrasjonen av nitritt ikke skal overstige 0,1 mg NO<sub>2</sub>-N/l (Noble mfl. 2018). Andre vannlevende organismer er også sensitive for høye konsentrasjoner av nitritt, men verdier for akutt giftighet (LC50) er som oftest godt over 1 mg NO<sub>2</sub>-N/l.

Nitritt kan dannes som et biprodukt både ved nitrifikasjon og denitrifikasjon. For fullskala anlegget for N-rensing fra vegfylling i Nordlandsdalen har det blitt påvist nitritt i rensset vann når det var dårlige forhold for denitrifikasjon i rensefiltrene i form av lav konsentrasjon av organisk stoff og delvis aerobe forhold (Roseth mfl. 2023).

## 5.4 Krom

Tilført tunnelvann inneholdt varierende konsentrasjoner av krom. Ved oppstart av forsøket ble det registrert konsentrasjoner over 20 mg Cr/l.

Tilført krom blir tilnærmet helt fjernet i rensefilteret gjennom hele forsøksperioden. Aktuelle fjerningsmekanismer er sulfidbinding og sorpsjon til filtermaterialet. Varigheten av rensing for krom vil avhenge av om filteret opprettholder stabilt reduserende forhold for sulfatreduserende bakterier samt sorpsjonskapasitet i filtermaterialet.

Tunnelvann inneholder normalt forhøyede konsentrasjoner av seksverdig krom.

Rapporterte tall fra Skanska (årsrapport og notat til Statsforvalter i Viken) viste konsentrasjoner av totalkrom i rensset tunnelvann fra Sollihøgdtunnelen fra 5 til 80 µg Cr/l, med en middelvei på ca. 25 µg/l (se vedlegg). Seksverdig krom utgjorde i størrelsesorden 80 % av totalkrom, og målte konsentrasjoner varierte fra 4 – 65 µg/l med en middelvei på ca. 20 µg/l.

Det er ønskelig å redusere forhøyede konsentrasjoner av toksisk krom før utslipp til resipient. Det er interessant dersom det kan skje gjennom sulfidbinding og sorpsjon i en filterløsning med sterkt reduserende forhold.

For rensset tunnelvann fra Sollihøgdtunnelen indikerte resultatene fra resipientoppfølgingen at mye krom ble fjernet ved at utslippet ble infiltrert gjennom en steinfylling på riggområdet før videre avrenning til Damtjernbekken.

Det er sannsynlig at sulfidbinding bidrar til fjerning av krom i pilotfilteret, og det er i samsvar med flere artikler som beskriver rensing av krom, sink, kobber og jern i biofiltre under sulfatreduserende forhold (Zainuddin mfl. 2019, Sahinkaya mfl. 2012 samt Holanda og Johnson 2020). Tunnelvannet er en stabil kilde for tilførsel av sulfat som kan reduseres til sulfid, noe som kan gi en langvarig rensing av disse metallene.

## 5.5 Kobber og sink

Tilførte konsentrasjoner av kobber og sink avtar etter biofilteret, men med varierende rensegrad. I et tidligere forsøk med rensing av tunnelvann, presentert i denne rapporten, ble tilført sink og kobber (middelkonsentrasjoner hhv. 73 og 16 µg/l) fullstendig fjernet i filteret.

Som diskutert for krom antas oppnådd rensing av kobber og sink å skje som følge av sulfidbinding og sorpsjon til filtermaterialet.

## 5.6 Arsen, nikkel, mangan, jern og olje

Arsen kan mobiliseres under reduserende forhold, men konsentrasjonene av arsen endrer seg lite gjennom filteret. Nikkel synes å anrikes litt i filteret, men det er små forskjeller mellom INN og UT. Mangan, jern og olje ble ikke analysert i forsøket med pilotfilter for tunnelvann. Analysene fra tidligere forsøk med rensing av tunnelvann, indikerte at mangan og jern ble mobilisert fra filtermassen og ga forhøyede konsentrasjoner i utløpsvannet (hhv. 1,6 og 1,9 mg/l). Det samme forsøket ga noe tilbakeholdelse av total olje i filteret.

## 5.7 Sulfat

Det ble ikke analysert for sulfat i pilotforsøket med tunnelvann. I tidligere forsøk med rensing av tunnelvann indikerer resultatene at halvparten av tilført sulfat ble fjernet i filteret. Det indikerer at deler av tilført sulfat har blitt redusert til sulfid, som bidrar til sulfidbinding av metaller. Prosessen bør undersøkes nærmere, og blir en viktig problemstilling i en masteroppgave for etterbruk av slike filtre for rensing av metaller i tunnelvaskevann. Masteroppgaven har veiledere fra NMBU, Statens vegvesen og NIBIO, og skal leveres våren 2024.

## 5.8 Organisk stoff og fosfor

Filtermaterialene avgir forhøyede konsentrasjoner av organisk stoff og fosfor. Konsentrasjonene er særlig høye ved innledende belastning av ferskt filtermateriale, og avtar med økende vannmengder gjennom filteret.

I forsøket varierte konsentrasjonene av organisk stoff i utløpet fra filteret fra 13 til 480 mg TOC/l. Konsentrasjonene av fosfor varierte fra 0,04 til 4,6 mg P/l.

Det er lite ønskelig med utslipp av høye konsentrasjoner av organisk stoff og fosfor til sårbare resipienter, selv om det er snakk om begrensede vannmengder. Denne problemstillingen må vurderes og prøves ut nærmere før rensløsningen kan tas i rutinemessig bruk for rensing av nitrogen og metaller i tunnelvann.

Akkurat som for nitrogenrensing av avløpsvann, så er organisk stoff og fosfor nødvendig for å oppnå nitrogenfjerning. Ved riktig hydraulisk belastning og en batchvis kjøring av filteret bør en kunne oppnå en gunstigere utnyttelse av disse ressursene, med reduserte konsentrasjoner i utløpsvannet. Konseptet kan forbedres ved at overskudd av organisk stoff fra flishogd virke utnyttes til denitrifikasjon i en etterfølgende container med mineralmateriale i passe kornstørrelse, der overskuddet av organisk stoff og fosfor blir brukt opp.

Nordlandsbekken, som mottar avrenning fra nitrogenfilteret i Nordlandsdalen, har vist normale konsentrasjoner av organisk stoff og fosfor på en stasjon 300 nedstrøms utslippet. Det har heller ikke blitt påvist endringer i bunndyrsamfunnet eller økologisk tilstand for bunndyr på stasjonen nedstrøms.



## 6 Sammenfattende vurderinger

Et containerbasert pilotfilter har gitt god rensing av nitrogen i tilført tunneldrivevann fra Sollihøgdtunnelen. Oppnådd rensesgrad for totalnitrogen (Tot N) har variert mellom 60 og 97 % for parvise prøver av inn- og utløp. For nitrat og nitritt er det oppnådd tilnærmet fullstendig rensing. For ammonium varierer rensesgraden gjennom måleperioden fra -6 til 99 %, med en snitt på 68 %.

Pilotfilteret ble bygget i en 10 m<sup>3</sup> container, med et vannmettet filter av flishogd or og skjellsand på 6 m<sup>3</sup>. I tillegg et umettet forfilter for nitrifikasjon i to rør (30\*300 cm) fylt med singel.

Gjennom forsøksperioden i juni og juli 2023 har pilotfilteret blitt kjørt med to ulike hydrauliske belastninger, hhv. 120 (i juni) og 240 (i juli) liter per m<sup>3</sup> filter og døgn. Gitt at filtermassen har en porøsitet på 50 %, tilsvarer det en teoretisk oppholdstid på hhv. 4 og 2 døgn. Tilførte konsentrasjoner av totalnitrogen har variert fra 7 til 61 mg/l. I juli var det i hovedsak lave konsentrasjoner siden tunneldrivingen nærmet seg slutten. Oppnådd nitrogenfjerning har variert i intervallet 2 -7 g nitrogen per m<sup>3</sup> filtermateriale og døgn.

Maksimal kapasitet for nitrogenfjerning har ikke blitt avdekket, da konsentrasjonene av nitrogen var uventet lave i juli. I tillegg hadde det vært ønskelig å kjøre en hydraulisk belastning på 500 liter tunnelvann per m<sup>3</sup> filter og døgn som ville gitt en teoretisk oppholdstid på 1 døgn. Det var det ikke mulighet for innenfor tidsvinduet og den økonomiske rammen som var til rådighet. Kunnskapsbehov med hensyn til maksimal renseskapasitet samt drift og design av slike anlegg bør undersøkes i en fullskala renseløsning for et tunnelprosjekt. Renseløsningen bør tilrettelegges for målinger og prøvetaking samt endring i hydraulisk belastning og rensedesign underveis. Automatisert og kontinuerlig overvåking av optisk nitrat, redoksforhold, optisk oksygen, pH, ledningsevne, vanntemperatur og vannmengde vil gi en dynamisk forståelse av hvordan endringer i belastning og design påvirker rensesprosessen.

Pilotfilteret viste en effektiv fjerning av krom, herunder seksverdig krom. Det ga også rensing av kobber og sink. Oppnådd rensing av krom, sannsynligvis gjennom en kombinasjon av sulfidbinding og sorpsjon, er nyttig og interressant for tunnelvann. Tilsvarende gjelder for kobber og sink.

Ved innledende belastning avga filtermaterialet høye og uønskede konsentrasjoner av organisk stoff og fosfor. Disse avtar med akkumulert hydraulisk belastning. Uønskede utslipp til resipient kan forebygges gjennom tilpasset hydraulisk belastning, gradvis økt filtermengde samt et optimalisert design av renseløsningen. Renseløsningen er ikke tilpasset utslipp til sårbare resipienter med mindre utslippet av fosfor og organisk stoff er ivaretatt gjennom nevnte tiltak.

# Litteratur

- Carstensen, M. V., Larsen, S. E., Kjærgaard, C. and Hoffmann, C.C. 2019. Reducing adverse side effects by seasonally lowering nitrate removal in subsurface flow constructed wetlands. *Journal of Environmental Management* 240 (2019):190-197.
- Christianson, L. E., Castello, A., Christianson, R. D., Helmers, M. J and Bhandari, A. 2010. Technical Note: Hydraulic Property Determination of Denitrifying Bioreactor Fill Media. *Applied Engineering in Agriculture* 26(5): 849-854.
- Erkan, S., Adem, K., Muslum, A., Kostas, K. and Lens, P. N. L. 2012. Hexavalent chromium reduction in a sulfur reducing packed-bed bioreactor. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 219–220, 2012, pages 253-259, ISSN 0304-3894,
- Guerrero, J-L. og Sample, J. E. 2021. Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2019 – tabeller, figurer og kart. NIVA-rapport 7599-2021. 99 s.
- Hoffmann, C., Larsen, S. and Kjærgaard, C. 2019. Nitrogen Removal in Woodchip-based Biofilters of Variable Designs Treating Agricultural Drainage Discharges. *Journal of Environment Quality*. 48 (6).
- Holanda, R. and Johnson, D. 2020. Removal of Zinc From Circum-Neutral pH Mine-Impacted Waters Using a Novel “Hybrid” Low pH Sulfidogenic Bioreactor. *Frontiers in Environmental Science*. 8. 22. 10.3389/fenvs.2020.00022.
- Isdahl, P. 2021. Pers. medd. vedrørende forbruk av emulsjonssprengstoff i 2019 og 2020. Gitt i mail av 26.11.21 fra Per Isdahl, senioringeniør Kjemikaliesikkerhet DSB.
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Kolarevic, J. og Gismervik, K. 2018. Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 328 sider. ISBN 978-82-8296-531-6.
- Pugliese, L., Skovgaard, H., Mendes, L. R. D. and Iversen, B. V. 2020. Treatment of Agricultural Drainage Water by Surface-Flow Wetlands Paired with Woodchip Bioreactors. *Water* 2020, 12(7), 1891.
- Ranneklev, S. B., Garmo, Ø., Petersen, K. og Vikan, H. 2017. Undersøkelse av tunnelvann, slam og uomsatt sprengstoff under drivingen av Espatunnelen på E6. VANN (03)2017. s 291-305.
- Rohde, J. K., Elioff, A., Sieminska-Lewandowska, A., Fulcher, B., Thalmann, C., Campa, E., Hsiao, F.-Y., Burdin, J., Boscaro, A., Kaneshiro, J., Bappler, K., Bobylev, N., Wang, T.-T., Perugini, V. and Ota, Y. 2019. Handling, Treatment and Disposal of Tunnel Spoil Materials (tekn. rapp.). *International tunneling and underground space association*.
- Roseth, R. og Skrutvold, J. 2022. Rensing av nitrogen fra sprengstein. Pilotforsøk med biofilter. NIBIO Rapport 8 (114) 2022.
- Roseth, R., Rognan, Y., Skrutvold, J. og Fjermestad, H. 2022. Nitrogen i sprengstein – avrenning og rensing. Konsentrasjoner, avrenningsforløp, målemetoder, effekter på vannmiljø og aktuelle rensemetoder. NIBIO Rapport 8(60)2022.
- Roseth, R., Skrutvold, J., Vartdal, I. V., Fjermestad, H. og Barland, T. 2023. E16 Bjørum – Skaret. Resultater for rensianlegg for nitrogen i 2022. NIBIO-rapport 9(52)2023.
- Skrutvold, J. og Roseth, R. 2023. E16 Bjørum-Skaret. Vannkjemiske og biologiske undersøkelser gjennom anleggsfasen 2022. NIBIO Rapport 9(36)2023.
- Staalstrøm, A., Walday, M. G., Vogelsang, C., Frigstad, H, Borgersen, G., Albretsen, J. og Naustvoll, L. J. 2021. Utredning av behovet for å redusere tilførslene av nitrogen til Ytre Oslofjord. NIVA-rapport 7723-2022. Miljødirektoratet-rapport M-2065.

Szatkowska, B. and Paulsrud, B. 2014. The Anammox process for nitrogen removal from wastewater – achievements and future challenges. *Vann* (2) 2014, 186-194.

Vikan, H. 2013. Avrenning av ammoniumnitrat fra uomsatt sprengstoff til vann – Giftvirkninger i resipient og renseløsninger. *VANN* 48 (3).

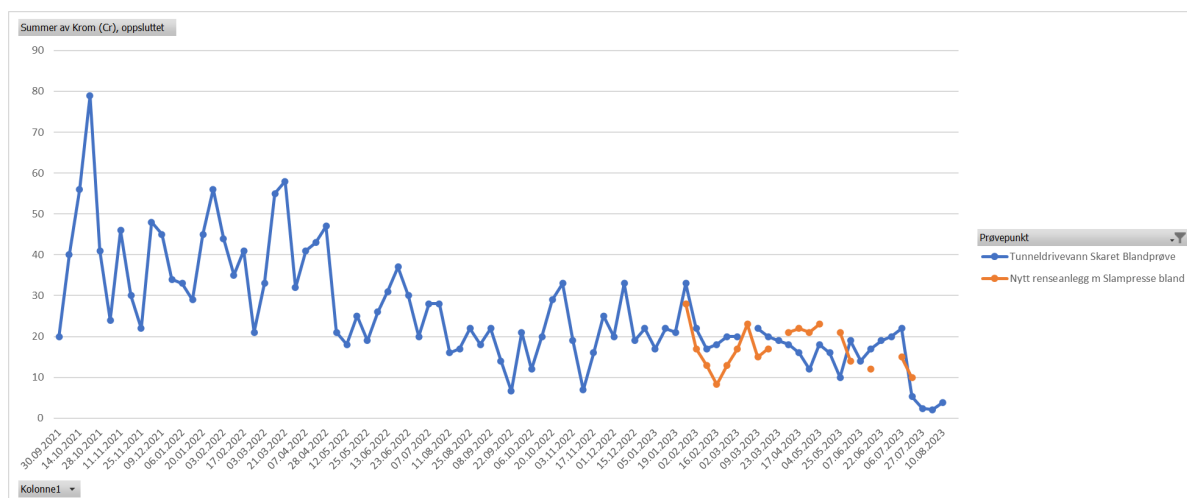
Zainuddin, N., Mamat, T., Imam M. H., Puasa, S. and Mohd Yatim, S. 2019. Removal of Nickel, Zinc and Copper from Plating Process Industrial Raw Effluent Via Hydroxide Precipitation Versus Sulphide Precipitation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 551. 012122. 10.1088/1757-899X/551/1/012122.

# Vedlegg

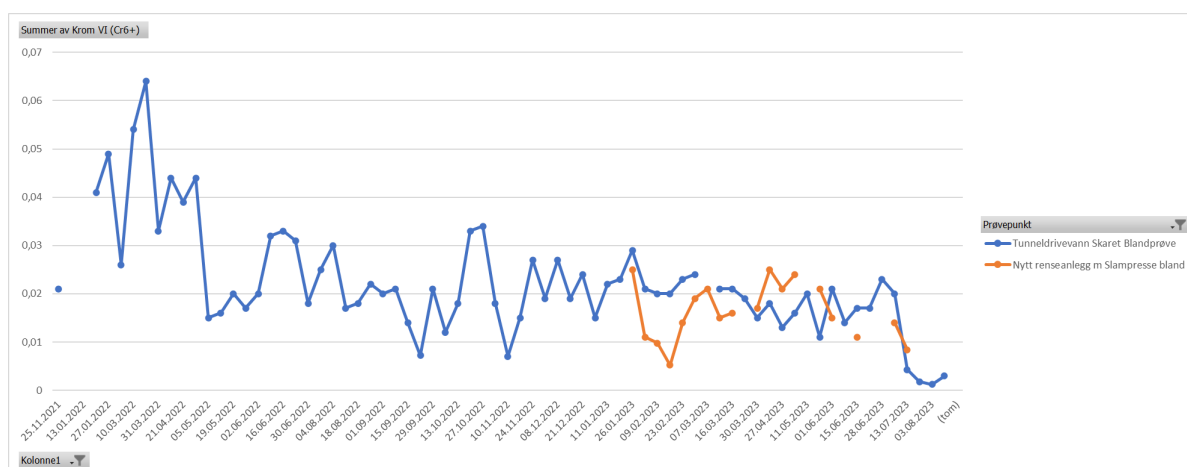
Bilder av nitrifikasjonsfilter for nitrifikasjon av ammonium til nitrat ved innløpet til rensefilteret



## Krom ( $\mu\text{g/l}$ ) i tunneldrivevann fra Skaret i perioden høst 21 til høst 23 (fra Skanska)



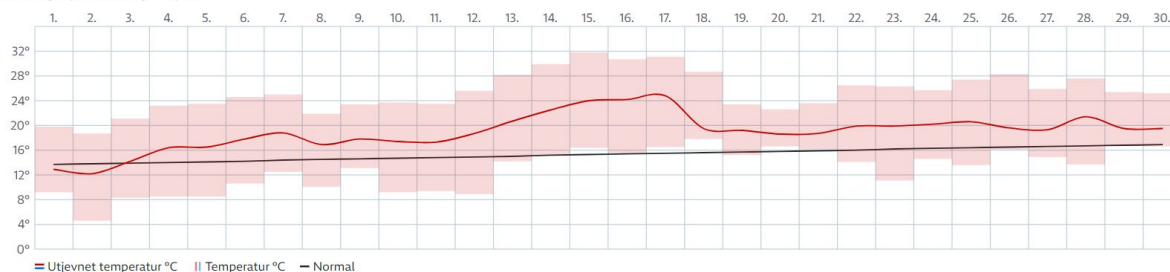
## Sekssverdig krom ( $\text{mg/l}$ ) i tunneldrivevann i perioden høst 21 til høst 23 (fra Skanska)



## Lufttemperatur og nedbør ved meteorologisk stasjon på Blindern i juni og juli 2023.

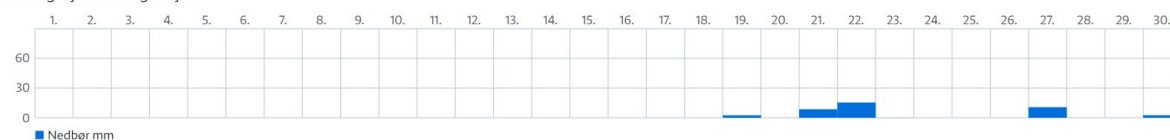
### Temperatur

Torsdag 1. juni - fredag 30. juni



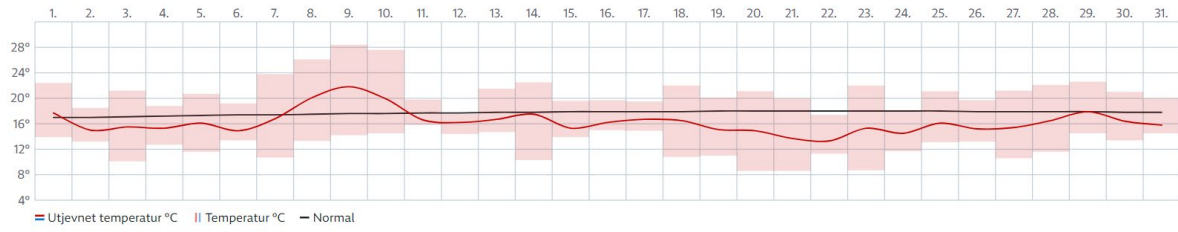
### Nedbør

Torsdag 1. juni - fredag 30. juni



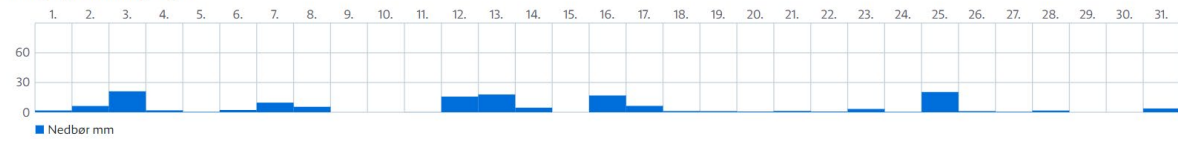
## Temperatur

Lørdag 1. juli-mandag 31. juli



## Nedbør

Lørdag 1. juli-mandag 31. juli



Samlet nedbør i juni var 40 mm og i juli 147 mm



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

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

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

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



Forsidefoto: Rensfilter for nitrogen i container. Foto: Roger Roseth  
Baksidefoto: Filtermateriale, flishogd gråor. Foto: Roger Roseth