



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Rensing av nitrogen fra sprengstein

Pilotforsøk med biofilter

NIBIO RAPPORT | VOL. 8 | NR. 114 | 2022



Roger Roseth og Johanna Skrutvold

Divisjon for miljø og naturressurser, avdeling for hydrologi og vannmiljø.

TITTEL/TITLE

Rensing av nitrogen fra sprengstein. Pilotforsøk med biofilter

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Roger Roseth og Johanna Skrutvold

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
09.09.2022	8/114/2022	Åpen	10625-18	21/00403
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03134-5	2464-1162	28	-	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Statens vegvesen, E16 Bjørum-Skaret

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Ida Viddal Vartdal/Halldis Fjermestad

STIKKORD/KEYWORDS:

Sprengstein nitrogen rensing

Blasting waste rock nitrogen removal

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Naturbaserte renseløsninger

Biofilter/Constructed wetlands

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Avrenning av nitrogen fra sprengstein gir forhøyede konsentrasjoner av nitrat og ammonium i vassdrag. Avhengig av deponert volum og type masser kan det skje avrenning av store mengder nitrogen, i størrelsesorden 10-70 gram nitrogen per anbrakt kubikkmeter stein. For vassdrag kan tilstanden for nitrogen midlertidig endres fra «svært god» til «svært dårlig». Tilførslene kan gi økologiske effekter i ferskvann, og bidrar til uønsket eutrofiering i sjøvann. Etablering av effektive rens tiltak for fjerning av nitrogen i avrenning fra sprengstein og tunnelarbeid har blitt vurdert som vanskelig, og har ikke blitt prøvd ut i Norge tidligere. For E16 Bjørum-Skaret har Statsforvalteren stilt krav om at det skal etableres et forsøksanlegg for rensing av nitrogen fra sprengsteinsfyllinga i Nordlandsdalen. Rapportert pilotforsøk ble utført for å prøve ut og dokumentere valgt rens prinsipp for bygging av fullskala forsøksanlegg i Nordlandsdalen i Hole kommune.

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Viken

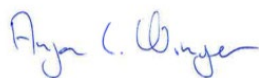
KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Nordre Follo

STED/LOKALITET:

Skotbu

GODKJENT /APPROVED



ANJA CELINE WINGER

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



JOHANNA SKRUTVOLD



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

I utslippstillatelsen for E16 Bjørum-Skaret har Statsforvalteren stilt krav om at det skal etableres et forsøksanlegg for nitrogenrensing for tunnelsteinfyllinga i Nordlandsdalen i Hole kommune. For å skaffe mer informasjon om egnede filtermasser og renseeffekt ved ulike hydrauliske belastninger ble det etablert et småskala pilotforsøk før det fullskala renseanlegget ble ferdigstilt. Pilotforsøket har gitt innledende utprøving og dokumentasjon av planlagt biofilter som renseløsning for nitrogen.

Opplagret virke av løvskog og røtter ble hentet fra ranker med sorterte virke etter hogst av anleggsområdet. Virke av ulike typer ble valgt ut og hentet med henger av Jon Erling Einarsen (ViaNova) og Roger Roseth. Virket ble kjørt til flishugging hos Lesteberg gård i Vestby.

Etter flishogging ble det utført et risteforsøk med de ulike typene av flishugd virke. Risteforsøket ble utført i samarbeid med Hege Bergheim ved Biogasslaboratoriet på NIBIO. Analysene av utlekkingsvann ble utført av Eurofins.

Risteforsøket indikerte forskjeller mellom utprøvde typer av flishugd virke, og ga grunnlag for valg av materialer og blandinger til bruk i pilotskala biofilter. Oppsett av biofilter med doseringstank, timer, pumper samt blanding og plassering av egnet filtermateriale ble utført av Roger Roseth. Tilsvarende gjaldt for oppfølging av forsøket med periodisk endret belastning og uttak av vannprøver. Ksenia Gulyaeva ved Biogasslaboratoriet utførte vannanalyser fra forsøket, men det ble også levert prøver til Eurofins.

Det ble utført kontinuerlige automatiske målinger av rensset utløpsvann fra pilotfilteret. Automatisk måleutstyr for optisk nitrat, pH, redoks, oksygen, turbiditet, ledningsevne og vannhøyde ble montert og avlest av Øistein Johansen og Thor Endre Nytrø ved måleteknisk avdeling på NIBIO.

Rapporten er skrevet av Roger Roseth og Johanna Skrutvold.

Kvalitetssikring er utført av avdelingsleder Anja Celine Winger.

Ås, 09.09.22

Roger Roseth

Innhold

1	Risteforsøk for valg av filtermaterialer.....	5
1.1	Henting og flishogging av virke.....	5
1.2	Gjennomføring av risteforsøk.....	6
1.3	Resultater	8
1.4	Vurdering av filtermaterialer	9
2	Pilotforsøk med biofilter.....	11
2.1	Forsøksoppsett	11
2.1.1	Blanding av filtermaterialer	11
2.1.2	Pilotfilter for nitrogenrensing	12
2.1.3	Automatiske målinger	13
2.1.4	Analyser.....	14
2.2	Belastning, prøvetaking og automatiske målinger	14
2.3	Analyseresultater for perioder med ulik belastning.....	15
2.3.1	Analyseresultater fra Eurofins.....	15
	Analyseresultater fra ionekromatograf, NIBIO	17
2.4	Automatiske målinger	18
2.4.1	Optisk nitrat	18
2.4.2	Redoks, oksygen, pH, ledningsevne, turbiditet og vanntemperatur.....	20
2.5	Vurdering av oppholdstid, N-tilførsel og rensegrad	23
3	Sammendrag og vurderinger.....	24
3.1	Risteforsøk.....	24
3.2	Pilotfilter.....	24
4	Anbefalinger - fullskala anlegg Nordlandsdalen.....	26
5	Litteratur.....	27

1 Risteforsøk for valg av filtermaterialer

Innledende risteforsøk ble gjennomført for å avklare forskjeller mellom de ulike typene av filtermaterialer, som et grunnlag for valg av materialer i pilotfilteret. Herunder om det var forskjeller mht. hvilke «ønskede» og «uønskede» stoffer som de ulike treslagene og filterfraksjonene avga til utlekkingsvannet. Eksempel på ønskede stoffer er løst organisk stoff (DOC) som tjener som drivstoff for nitratfjerning gjennom denitrifikasjon samt noe fosfor/fosfat for omsetning og vekst av ønskede mikroorganismer i biofilteret. Eksempler på uønskede stoffer er for høye konsentrasjoner av sink eller andre miljøproblematiske metaller.

Skjellsand og knust kalkstein ble vurdert som de mest aktuelle materialene for å sikre stabil høy pH og god vannledningsevne i biofilteret. Disse materialene inngikk derfor i risteforsøket.

1.1 Henting og flishogging av virke

Statens vegvesen og totalentreprenør Skanska hadde allerede under avvikling av anleggsområdene tilrettelagt for at løvtrevirke og røtter som kunne være aktuelt å flishugge til filtermateriale var lagt opp i ranker nedstrøms steinfyllinga i Nordlandsdalen (figur 1). Nordlandsdalen er en bekkedal ned mot Holsfjorden ved Skaret i Hole kommune, der det skal legges sprengstein fra E16 Bjørum-Skaret.

Utvalgte treslag og fraksjoner til bruk i riste- og pilotforsøk ble plukket manuelt fra rankene 27.05.21, og kjørt på henger for flishogging på Lesteberg gård 28.05.21. Ulike treslag/fraksjoner ble flishogd separat og lagt i merkede sekker: Gråor, selje, ask, gran og røtter (fra ulike treslag).

Virket ble flishugd med en trommelflishugger Heizohack 8-500 med Cranab FC53 (figur 2). Det ble brukt grovt sold, for produksjon av stor flis (P45), med 75 % av volumet mellom 8 og 45 mm. Det ble valgt å flishugge til grov flis for å sikre god hydraulisk kapasitet i biofilteret. Bulkdensitet av flishugd virke med naturlig fuktighet ble ikke målt, men antas å ligge i størrelsesorden 300 kg per løs kubikkmeter.



Figur 1. Ranker med virke lagt klar for flishogging i Nordlandsdalen (Foto: Roger Roseth).



Figur 2. Trommelflishugger brukt for hugging av grov flis til riste- og pilotforsøk.

1.2 Gjennomføring av risteforsøk

Risteforsøket ble gjennomført med følgende fraksjoner av flishugd virke, skjellsand og knust kalkstein: Gråor, selje, ask, gran, røtter, bark, skjellsand og knust kalkstein (figur 3).



Figur 3. Fraksjoner for undersøkelse av kvalitet på utlekkingsvann i risteforsøk (selje og gran var også med i forsøket).

Anvendt skjellsand var «Grov skjellsand» fra Danshell som selges av Felleskjøpet, med kornfordeling 2,5-5 mm og et kalsiuminnhold på 37 %. Knust kalkstein var strøsingel produsert av Franzefoss, som selges i 15 kg sekker på Felleskjøpet med kornfordeling 2-7 mm og 0,7-0,8% finstoff (Bolme og Nonstad 2017). Bark var grov ubehandlet gran- og furubark kjøpt i sekk fra Hageland, og som normalt brukes til markdekking i hager og grøntanlegg.

Risteforsøket ble kjørt med nevnte 8 fraksjoner samt en blanding av gråor og skjellsand, til sammen 9 ulike materialer (figur 4). Forsøket ble utført i 1 l pyrex glassflasker der det ble veid inn 100 g av aktuelle filtermaterialer (med naturlig fuktighet). For blandingen av gråor og skjellsand ble det veid inn 70 g gråor og 30 g skjellsand. Etter innveieg av filtermaterialer ble det tilsatt 900 ml med destillert vann, før prøvene ble satt på resting i 24 timer- (figur 5). Ristehastighet var 110 slag i minuttet.



Figur 4. Fraksjoner klargjort for risteforsøk i 1 l pyrex glassflasker (fraksjon med ask ble kjørt senere).



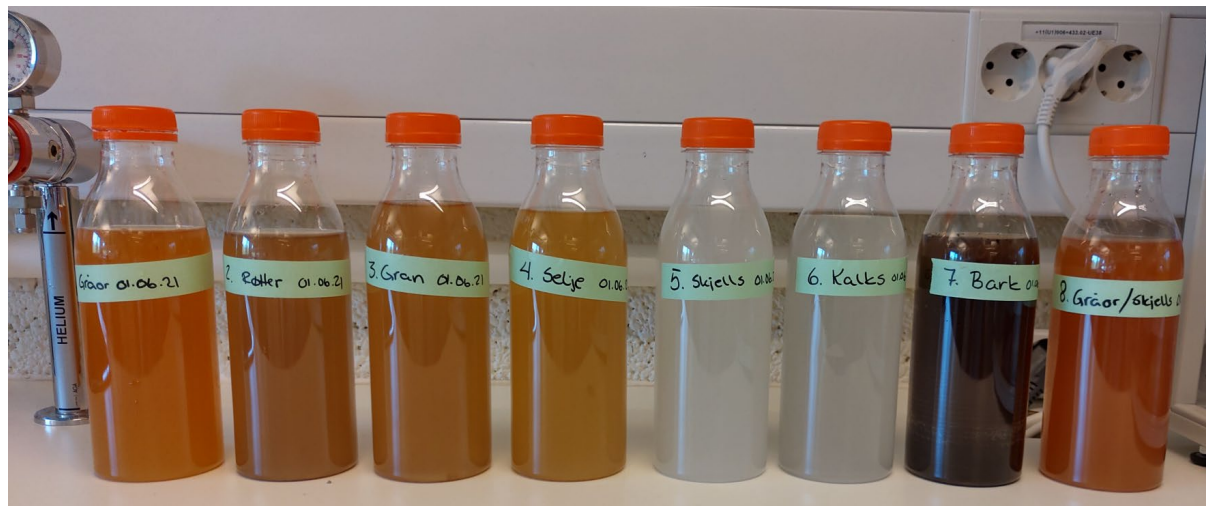
Figur 5. Ristebord med 110 slag per minutt (30 mm utslag) for risting av prøver i 24 timer.

Tørrstoff og vektprosent aske ble undersøkt for de ulike filtermaterialene (tabell 1). For flishogd virke varierte tørrstoff mellom 40 og 67 %, mens aske varierte mellom 1,1 og 2,7 %. Askeinnhold er et mål på totalt mineralinnhold i prøvene, og utføres ved forbrenning ved 550 °C i 4 timer (ISO 5984).

Tabell 1. Tørrstoff (%) og aske (%) for de ulike filtermaterialene i ulike filtermaterialer.

Prøve	Tørrstoff %	Aske %
Bark	39,8	1,1
Kalkstein	100	0,00
Røtter	56,2	2,4
Skjellsand	99,5	2,6
Ask	67,0	2,7
Gråor	61,2	2,4
Gran	45,3	1,8
Selje	49,4	2,1

Etter avsluttet risting ble prøvene satt for sedimentasjon i 1 time, før utlekkingsvannet ble hentet forsiktig ut med pipette. Utlekkingsvannet (figur 6) ble levert til analyse hos Eurofins, og analysert for følgende parametere: Totalt organisk karbon (TOC), Løst organisk karbon (DOC), Total fosfor (TP), Total nitrogen (TN), ammonium (NH₄-N), nitrat (NO₃-N), kalsium (Ca), pH, konduktivitet og filtrerte metaller sink (Zn), nikkel (Ni), kobber (Cu), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), arsen (As) og kvikksølv (Hg).



Figur 6. Utlekkingsvann etter 24 timers risting som ble levert til analyse hos Eurofins.

1.3 Resultater

Utlekkingsvannet fra ask, røtter og gråor viste det høyeste innholdet av løst organisk karbon (DOC), fra 400-670 mg/l (tabell 2). Bark, gran og selje viste lavere DOC-verdier, fra 130-270 mg/l. Skjellsand og kalkstein avga svært lite DOC til vannet.

Selje og bark ga de høyeste konsentrasjonene av Tot P (7,7 og 6,0 mg/l) tett fulgt av gråor (4,9 mg/l). Gran, røtter og ask ga lavere konsentrasjoner av Tot P (0,8-2,7 mg/l).

pH-verdien i utlekkingsvann fra flishugd virke samt bark varierte i intervallet 5,2-6,1. Skjellsand og kalkstein viste pH på hhv. 9,6 og 9,7. En blanding av gråor (70 g) og skjellsand (30 g) viste en pH på 7,0.

Bark viste den høyeste verdien av Tot N (11 mg/l) etterfulgt av gråor (9,4 mg/l). Selje, røtter, gran og ask varierte i intervallet 1,4-5,7 mg/l. Skjellsand viste en overraskende høy verdi for Tot N (6,3 mg/l) der storparten av nitrogenet var nitrat (NO₃-N) (5,6 mg/l). For de andre materialene var det mest organisk nitrogen og begrenset med ammonium (NH₄-N) (40-340 µg/l) og nitrat (<5-200 µg/l). Gråor avga mest kalsium til løsningen (12 mg/l), mens bark avga minst (1,7 mg/l).

Tabell 3 viser utlekking av ulike metaller.

Det er ikke ønskelig at det flishugde virket avgir høye konsentrasjoner av sink (Zn). Røtter ga den høyeste konsentrasjonen av sink (75 µg/l) etterfulgt av gran (68 µg/l) og selje (67 µg/l). Gråor (39 µg/l), bark (29 µg/l) og ask (25 µg/l) avga minst sink. Hverken skjellsand eller kalkstein avga sink. Blandingen gråor+skjellsand (70+30 gram) indikerte at tilsats av skjellsand reduserte utlekkingen av sink fra flishugd virke (11 µg/l mot 39 uten skjellsand).

Gran og ask ga størst utlekking av kobber (Cu), henholdsvis 5,6 og 2,3 µg/l. Gråor og bark ga lavest utlekking, hhv. 0,71 og 0,47 µg/l.

Gråor ga ellers lave verdier for utlekkning av nikkel (Ni), kvikksølv (Hg), krom (Cr), kadmium (Cd), bly (Pb) og arsen (As).

Tabell 2. pH, konduktivitet, Tot P, Tot N, NH4-N, NO3-N, TOC, DOC og Ca i utlekkingsvann fra ulike filtermaterialer

Filtermateriale	pH	Kond. mS/m	Tot P mg/l	Tot N mg/l	NH4-N µg/l	NO3-N µg/l	TOC mg/l	DOC mg/l	Ca mg/l
Gråor	5,2	11,4	4,9	9,4	340	200	510	400	12
Ask	5,3	19,4	0,8	1,4	40	29	770	670	4,6
Gran	5,8	9,13	2,7	4,1	97	<5	260	190	5,2
Selje	5,4	14,6	7,7	5,7	130	<5	360	270	5,3
Røtter	6,1	15,9	1,7	4,2	140	110	550	440	5,7
Bark	5,6	7,75	6,0	11	300	78	680	130	1,7
Skjellsand	9,6	54,3	0,15	6,3	200	5600	2,3	1,3	15
Kalkstein	9,7	5,96	0,055	0,28	73	200	0,42	<0,3	7,5
Gråor+skjellsand	7,0	78,4	0,090	5,7	320	330	310	230	140

Tabell 3. Arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink i utlekkingsvann fra ulike filtermaterialer.

Filtermateriale	As µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Cr µg/l	Hg µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
Gråor	< 0,20	0,084	< 0,040	0,71	< 0,50*	0,003	< 0,50	39
Ask	0,039	0,095	0,041	2,3	0,12	<0,002	0,49	25
Gran	0,089	0,066	0,11	5,6	0,32	<0,002	1,5	68
Selje	0,064	0,052	0,22	1,6	0,17	0,036	1,2	67
Røtter	0,27	0,33	0,057	2,2	< 0,50*	<0,002	1,4	75
Bark	0,26	0,25	0,060	0,47	0,52	<0,002	0,43	29
Skjellsand	1,2	< 0,010	< 0,0040	1,6	< 0,050	<0,002	0,32	< 0,20
Kalkstein	0,69	< 0,010	< 0,0040	< 0,050	0,050	NA	0,078	< 0,20
Gråor+Skjellsand	1,9	0,16	< 0,040	0,70	< 0,50*	<0,002	2,0	11

* Forhøyet LOQ pga vanskelig prøvematriks

1.4 Vurdering av filtermaterialer

- Løst organisk karbon (DOC) er viktig som «drivstoff» for fjerning av nitrat gjennom denitrifikasjon, og ask, røtter og gråor avga de høyeste konsentrasjonene av DOC.
- En høy konsentrasjon av fosfor (Tot P) er gunstig for å utvikle en stor og aktiv populasjon av denitrifikasjonsbakterier og sikre en god rensefunksjon når det tilføres mye nitrat. Bark og gråor avga de høyeste konsentrasjonene av Tot P.
- Gråor viste de høyeste konsentrasjonene av kalsium, noe som må vurderes som gunstig for å opprettholde en høy pH i filtermaterialet.
- Gråor og ask avga minst sink til vannet, noe som er en fordel.
- Gråor viste de høyeste konsentrasjonene av Tot N, men dette var i hovedsak organisk N (fra proteiner, amino- og nukleinsyrer i filtermaterialene) og lite forelå som ammonium og nitrat.

En visuell vurdering av rankene med virke som var lagt opp i Nordlandsdalen indikerte at gråor var det dominerende treslaget etterfulgt av ask og med noe selje, bjørk og gran. Risteforsøket indikerer at gråor var det beste filtermaterialet. Siden rankene var dominert av gråor, og vi ikke fant negative effekter av de andre treslagene, så anbefalte vi sams flishugging for produksjon av filtermateriale til fullskala biofilter for N-rensing.

Vi anbefalte også innblanding av 10 % flishugde røtter, for å sikre tilførsel av kim av ønskede mikroorganismer i ferdig filtermasse. Kim tilføres gjennom jordrester fra røttene. I risteforsøket avga røttene høy konsentrasjon av DOC og kalsium, som vurderes som gunstig for renskapasiteten i biofilteret.

2 Pilotforsøk med biofilter

2.1 Forsøksoppsett

2.1.1 Blanding av filtermaterialer

Filtermaterialene ble blandet i en 60 l dunk, der ønskede volumer av ulike typer av flishugd virke samt skjellsand ble tilført med en 10 l bøtte. For hver 60 l dunk ble det tilført to bøtter med gråor, en med selje, en med røtter og en bøtte med skjellsand (figur 7). På volumbasis blir det 40% gråor, 20% selje, 20% røtter og 20% skjellsand.

I tillegg ble det tilsatt 0,2 l sukker og 0,5 l finkornet organisk bekkesediment til hver blandedunk på 60 l (figur 8), for å sikre lett tilgjengelig organisk materiale samt kim av ønskede bakterier ved oppstart av forsøket. Bekkesediment for inokulering av kim ble hentet fra en stilleflytende grøft fra jordbruksareal.

Innholdet i dunken ble blandet godt før det ble skjøvet inn i røret for pilotfilteret. Til sammen ble det blandet 7 slike dunker, dvs. rundt 350 l filtermateriale totalt.



Figur 7. Blandingsdunk før og etter blanding av filtermateriale.



Figur 8. Bekkesediment for inokulering av kim, skjellsand og flishugd gråor samt sukker for god oppstart av filter.

2.1.2 Pilotfilter for nitrogenrensing

Pilotfilteret ble bygd med basis i et 6 m langt korrugert overvannsrør med indre diameter 300 mm (figur 9). Røret ble lagt i vater på terreng, slik at utløpsdelen lå i samme høyde som innløp.

Deretter ble røret fylt med filtermateriale som ble skjovet inn fra både innløps- og utløpsdel, slik at hele røret ble fylt (figur 9). Filtermaterialet ble komprimert og pakket underveis, dvs. for hver ny blandedunk med filtermateriale som ble ført inn i røret. Innføring og pakking skjedde ved hjelp av en «stempelstang». Pakkingen for å sikre fylling i hele rørdiameteren skjedde ved å slå lett på stempelstanga med slegge.

Utløpet av røret ble tettet med endelokk og gummipakning. Før tetting ble det lagt inn 10 l fin pukkk (4-16 mm) i utløpssonen for å sikre god hydraulisk kapasitet. I endelokket ble det boret et hull og satt inn en tankgjennomføring (32 mm) for drenering av røret. En utløpsslange ledet rensset vann til en målebøtte for automatisk måling og prøvetaking av utløpskvalitet (figur 9).

Ved innløpsdelen ble det satt på et 45° bend for å sikre at vannstanden i filtermaterialet stod helt opp til toppen av røret, slik at det ble en vannmettet horisontal strømning. Tilføring av 10 l fin pukkk (4-16 mm) sikret god hydraulisk kapasitet i innløpssonen. Et endelokk ble satt løst inn mot 45° bendet for å sikre at det ikke blåste uønsket materiale inn, samt fiksere pumpeslangen for tilførsel av innløpsvann anriket med nitrat. Røret ble dekket med en sølvfarget presenning for refleksjon av sollys og en mest mulig utjevnet temperatur.



Figur 9. Viser rør (6 m, 300 mm) med filtermateriale samt ferdig filter med endelokk, utløpsslange og 45° bend innløp.

Nitrogenholdig innløpsvann ble blandet i en IBC-tank på 600 liter (figur 10). Tanken ble fylt med rent drikkevann og nitrat ble veid inn og tilført i form av kalksalpeter (SE Kalksalpeter™ fra Felleskjøpet produsert av Yara AB Malmø, 7,5 kg pose). I henhold til innholdsdeklarasjonen inneholdt SE Kalksalpeter™ 15,5% nitrogen fordelt på 14,4% nitrat og 1,1% ammonium.

En kraftig lensepumpe plassert i bunnen av IBC-tanken ga omrøring og effektiv innblanding av tilført kalksalpeter (figur 10). Tilført kalksalpeter ble veid inn og løst opp i 10 l bøtte før den ble tilført og blandet i tanken. Under gjennomføring av forsøket sørget lensepumpa for jevnlig omrøring i tanken, der en timer ga pumping 8 ganger i døgnet (15 minutter pumping hver gang). Pumping forebygde at det oppsto tetthetsbasert sjiktning av tilført gjødsel i tanken.

Pumpebasert belastning til filteret skjedde ved hjelp av en timerstyrt 12 V pumpe «Gigant» fra Eijkelcamp. Tidsuret ble programmert slik at det skulle pumpes 12 ganger i døgnet og med en varighet 1 minutt for hver omgang. Utpumpet volum tilført biofilter ble justert ved å sette på kalibrerte dyser

for ønsket belastning. Lav hydraulisk belastning var 30 l per døgn og høy hydraulisk belastning var 100 l per døgn. Det ble gjort måling og kontroll av hydraulisk belastning hver gang tanken ble fylt, og nedgang i tankvolum ble registrert jevnlig, ved å markere nivå og tidspunkt.



Figur 10. Viser IBC-tank på 600 l for blanding av nitratløsning, lensepumpe for omrøring samt pumpeplange til biofilter.

Røret som ble fylt med filtermaterialer var 6 m langt og hadde en indre diameter på 300 mm. Volumet av tilført filtermateriale var dermed ca. 420 l. Gitt en samlet porøsitet for filtermaterialet på 70 % (tilsvarende Hoffmann mfl. 2019 og Christianson mfl. 2010), så er den teoretiske vannmengden som til enhver tid står i filteret på ca. 300 liter. Dette kan gi et grunnlag for å beregne vannets teoretiske oppholdstid i filteret ved ulike hydrauliske belastninger.

2.1.3 Automatiske målinger

Det ble utført automatiske målinger av utløpsvannet fra biofilteret. Parameterne som ble målt var optisk nitrat, redoks, optisk oksygen, pH, ledningsevne, turbiditet og vannhøyde. Optisk nitrat ble målt med en Trios NICO™ sensor (figur 11) styrt av logger UnilogCom fra SEBA. De andre parameterne ble målt ned en multiparametersensor MPS D8 (figur 11) med logger UnilogCom.

Utstyret var kalibrert av Måleteknisk avdeling ved NIBIO før utsetting, og ble jevnlig rengjort under gjennomføring av forsøket.



Figur 11. Viser optisk nitratsensor Trios NICO™ samt utløpsbøtte med nitratsensor samt multiparametersonde MPS D8.

2.1.4 Analyser

Analyser av inn- og utløpsvann fra biofilteret ble utført av Eurofins og NIBIO. Hos Eurofins ble prøvene analysert for Tot N, NO₃-N, NH₄-N, løst organisk karbon (DOC), konduktivitet, pH, kalsium, sink, nikkel, kobber, kadmium, bly, arsen og kvikksølv. Alle metaller ble analysert på filtrerte prøver. Prøvene ble levert innenfor 24 timer etter prøvetaking eller frosset ned fram til analyse.

Mange av prøvene ble kun analysert på ionekromatografen (IC) på Biogasslaboratoriet til NIBIO. IC-instrumentet er av typen 940 Professional IC klargjort for analyser av nitrat, nitritt, ammonium, klorid, fosfat, natrium, kalium og magnesium. Analysene ble utført av Ksenia Gulyaeva, som har ansvaret for drift og analyser på IC ved NIBIO.

2.2 Belastning, prøvetaking og automatiske målinger

Nitrogenløsningen i IBC-containeren ble blandet med utgangspunkt i angitt nitrogeninnhold i anvendt kalksalpeter (15,5%). I den første delen av forsøket (juni) ble det tilsatt kalksalpeter for å oppnå en konsentrasjon på 100 mg Tot N/l (tabell 4). Senere (juli, august og september) ble mengden tilsatt kalksalpeter doblet for å oppnå en konsentrasjon på 200 mg N/l (tabell 4). Analyseresultatene for mengde nitrogen i innløpsløsningen viste noe avvik fra teoretisk konsentrasjon. Valgte konsentrasjoner er i samsvar med hva som kan forventes i avrenning fra fyllinger med tunnelstein.

Forsøket ble kjørt med ulike hydrauliske belastninger fra 30 til 96 l/døgn, og det ble i hovedsak lagt opp til at belastningen skulle økes etter hvert for å avklare hvordan renseprosesser og anleggsfunksjon ble påvirket av økt belastning. Belastningsstudien ble utført for å kunne vurdere mulige renseresultater ved aktuell og planlagt belastning for fullskala nitrogenrenseanlegg i Nordlandsdalen.

Tabell 4 gir informasjon om hvilke belastning biofilteret har hatt i ulike perioder, når det ble tatt prøver av inn- og utløpsvann samt når det ble utført automatisk overvåking av nitrat (optisk målesonde) og andre parametere målt med multiparametersonde.

Tabell 4. Viser ulik belastning av pilotfilter i form av tilført vannmengde, nitrogenkonsentrasjon samt prøvetaking og automatisk overvåking av vannkvalitet.

PERIODE	HYDRAULISK (l/døgn)	NITROGEN* (mg/l)	PRØVER UT	PRØVER INN	OPTISK NITRAT	MULTI- SONDE
14.06-16.06	42	100	15.06	10.06	x	
16.06-23.06	96	100	18.06 22.06	19.06	x	
23.06-28.06	30	100	28.06		x	
28.06-03.07	96	100	01.07	01.07	x	
03.07-10.08	30	200	18.07 09.08	18.07 09.08	x	x
10.08-13.08	96	200	13.08	13.08	x	x
13.08-18.09	30	200	09.09	09.09	x	x

* Beregnet konsentrasjon av Tot N basert på tilsatt mengde kalksalpeter, og angitt N-innhold.

2.3 Analyseresultater for perioder med ulik belastning

2.3.1 Analyseresultater fra Eurofins

Innløp

Analyser av ferdigblandet nitrogenholdig vann tilført pilotfilteret viste en konsentrasjon av Tot N på 110 mg/l for prøvene tatt ut 10. og 19.06.21 (tabell 5). Dette stemmer bra med at tilført N-løsning ble blandet for å gi en Tot N konsentrasjon på 100 mg/l.

De samme prøvene viste nitrat (NO₃-N) på hhv. 81 og 67 mg/l, ammonium (NH₄-N) på 7,8 og 6,5 mg/l. Normalt burde sum NO₃-N og NH₄-N utgjøre mesteparten av Tot N, men her mangler det mellom 11 og 32 mg N/l. Deler av dette kan være nitritt (NO₂-N).

Prøven tatt ut 09.09.21 viste Tot N på 230 mg/l, hvorav 210 mg var nitrat og 11 mg var nitritt. Konsentrasjonen av Tot N stemmer bra med at tilført N-løsning ble blandet for å gi en konsentrasjon på 200 mg/l.

Prøvene fra 10.06 og 19.06 viste omtrent samme konduktivitet (\approx 96 mS/m), mens prøven fra 09.09 som forventet viste omtrent dobbelt så høy konduktivitet (180 mS/m). Konduktivitet er den parameteren som brukes for kvalitetssikring av næringsløsninger i veksthus. pH varierte mellom 7,1 og 7,7. Det var noe fosfor (Tot P) i prøvene, og maksimalt 60 µg/l. Løst organisk karbon (DOC) viste lave verdier (1-2 mg/l). Kalsium viste høye konsentrasjoner relatert til mengden kalksalpeter blandet i bruksløsningen, hhv. 150 og 140 mg/l ved bruksløsning på 100 mg Tot N og 310 mg/l ved bruksløsning på 200 mg/l.

Konsentrasjonene av metaller (filtrert prøve) viste noe forhøyede konsentrasjoner av kobber (8-15 µg/l) og sink (10-27 µg/l), se tabell 6. Kobberkonsentrasjonen har sammenheng med innhold av kobber i tappevannet, løst ut fra kobberrør.

Tabell 5. pH, konduktivitet, Tot P, Tot N, NH₄-N, NO₃-N, DOC og kalsium i ferdigblandet N-løsning tilført pilotfilter.

Dato	Belastning	pH	Kond.	Tot P	Tot N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	DOC	Ca
	Hyd/Tot N		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
10.06.21	42/100	7,7	97,6	0,044	110	7,8	81	-	1,0	150
19.06.21	96/100	7,3	95,4	0,060	110	6,5	67	-	2,0	140
09.09.21*	30/200	7,1	180	0,045	230	0,026	210	11	1,4	310

*Analysert 11.02.21 etter lagring på kjølerom

Tabell 6. Arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink i ferdigblandet N-løsning tilført pilotfilter.

Dato	Belastning	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
	Hyd/Tot N	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
10.06.21	42/100	0,19	0,062	0,030	10	0,063	<0,002	0,47	9,7
19.06.21	96/100	0,21	0,080	0,027	15	< 0,050	<0,002	0,44	12
09.09.21*	30/200	0,19	0,035	0,078	7,7	<0,050	<0,002	1,4	27

*Analysert 11.02.21 etter lagring på kjølerom

Ut fra pilotfilter

Prøvene fra utløpet av pilotfilteret viste vesentlig lavere konsentrasjoner av Tot N, NH₄-N og NO₃-N enn innløpsvannet (tabell 7). For den første prøven fra 15.06.21 var konsentrasjonen av Tot N halvert sammenlignet med innløp, og for de videre prøvene ble resultatene gradvis forbedret. For prøven tatt 01.07.21, ble det påvist 2,7 mg Tot N, 0,45 mg NH₄-N og <5 µg NO₃-N/l. Gitt en konsentrasjon på 110 mg Tot N i vann tilført pilotfilteret, tilsvarer det en rensegrad på 98 % for Tot N.

Den første prøven fra pilotfilteret etter oppstart viste høye konsentrasjoner av løst organisk karbon (DOC) og Tot P, henholdsvis 1600 og 9 mg/l. Disse konsentrasjonene avtok gradvis med økende driftstid til henholdsvis 220 mg DOC/l og 0,6 mg Tot P/l 01.07.21.

For første prøve ut av pilotfilteret ble det målt forhøyede konsentrasjoner av sink og bly, henholdsvis 230 og 2,4 µg/l (tabell 8). Konsentrasjonene avtok raskt med økende vannmengde behandlet i filteret og alle metaller viste lave konsentrasjoner for prøven tatt ut 01.07.21. Sammenlignet med innløpsvannet bidro pilotfilteret til rensing av kobber.

Utløpsprøvene fra 09.08, 13.08 og 09.09.21 ble først analysert 11.02.22, etter å ha blitt lagret mørkt og kjølig på kjølerom. Lang lagringstid gir usikre resultater, og prosessen med utnyttelse av DOC for denitrifikasjon fortsetter også ved lav temperatur. Resultatene må tolkes med bakgrunn i lang lagringstid før analyse.

Tabell 7. pH, konduktivitet, Tot P, Tot N, NH₄-N, NO₃-N, DOC og kalsium i utløp fra pilotfilter.

Dato	Belastning	pH	Kond.	Tot P	Tot N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	DOC	Ca
	Hyd/Tot N		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
15.06.21	42/100	6,1	346	9,0	54	33	0,92		1600	520
18.06.21	96/100	6,4	204	5,6	25	7,8	0,89		790	390
22.06.21	96/100	6,9	98,6	0,64	5,1	1,7	1,3		180	190
28.06.21	30/100	6,7	135	2,1	5,0	1,0	0,66		430	310
01.07.21	96/100	7,0	103	0,58	2,7	0,45	<0,005		140	220
09.08.21*	30/200	7,3	75,8	0,34	1,1	<0,005	0,006	<0,002	19	160
13.08.21*	96/200	7,5	133	0,17	120	3,9	62	11	8,8	260
09.09.21*	30/200	7,2	119	0,13	78	1,6	40	12	7,7	220

*Analysert 11.02.21 etter lagring på kjølerom.

Tabell 8. Arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink i utløp fra pilotfilter.

Dato	Belastning	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
	Hyd/Tot N	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
15.06.21	42/100	8,5	2,4	0,18	6,6	2,0	<0,002	17	230
18.06.21	96/100	9,8	0,43	0,076	2,2	< 0,50	<0,002	12	67
22.06.21	96/100	2,8	0,048	0,027	0,47	0,075	<0,002	1,9	14
28.06.21	30/100	5,3	< 0,050	0,0070	0,33	0,10	<0,002	3,7	4,2
01.07.21	96/100	3,0	< 0,010	< 0,0040	0,19	0,082	<0,002	1,7	1,4
09.08.21*	30/200	1,9	<0,010	<0,0040	0,10	<0,050	<0,002	0,5	0,3
13.08.21*	96/200	1,2	0,022	<0,0040	0,19	<0,050	<0,002	0,19	0,41
09.09.21*	30/200	1,9	0,029	<0,0040	1,5	<0,050	<0,002	0,25	0,85

*Analysert 11.02.21 etter lagring på kjølerom

Analyseresultater fra ionekromatograf, NIBIO

For perioden 22.06 til 09.09.21 ble de fleste av innløps- og utløpsprøvene fra pilotfilteret analysert med ionekromatograf på NIBIO. I ettertid ble flere av prøvene også sendt til analyse hos Eurofins, for økt sikkerhet for analyseresultater og vurderinger.

Innløp

Innløpsprøvene tatt i perioden 22.06 til 18.07.21 viste omtrent samme konsentrasjoner for nitrat (NO₃-N), fra 82 til 86 mg/l (tabell 9). Mengden ammonium (NH₄-N) varierte fra 0 til 11 mg/l, mens nitritt (NO₂-N) varierte fra 0,2-8,0 mg/l.

Det ble analysert innløpsprøver fra 09.08, 13.08 og 09.09, men disse resultatene ble vurdert som usikre som følge av ustabile måleresultater (tetthetsbasert sjiktning i prøveflasker). Konsentrasjonene fra denne perioden med teoretisk innløpskonsentrasjon 200 mg N/l, baseres derfor på resultatene fra Eurofins.

Tabell 9. pH, konduktivitet, Tot P, Tot N, NH₄-N, NO₃-N, DOC og kalsium i ferdigblandet N-løsning tilført pilotfilter.

Dato	Belastning	Cl	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄	SO ₄	Na	NH ₄ -N	K	Ca	Mg
	Hyd/Tot N	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
22.06	96/100	7,8	0	81,9	0	17,2	15,4	11,3	3,0	164	7,1
29.06	96/100	5,4	0,2	86,1	0	14,5	7,3	8,1	1,8	160	4,8
01.07	96/100	4,5	0,1	85,7	0	14,8	7,4	7,1	3,1	158	5,0
18.07	30/100	4,5	8,0	87,3	0	9,9	5,8	0	1,9	134	11,5

Ut fra pilotfilter

Alle prøvene ut av pilotfilteret i perioden 22.06 til 09.08.21 viste enten lave eller ikke påvisbare konsentrasjoner av nitrat, varierende fra 0-1,1 mg/l (tabell 10). For ammonium varierte konsentrasjonene i samme periode fra 0-2,6 mg/l, og for nitritt var det ikke påvisbare konsentrasjoner.

Etter en periode med høy belastning (96 l per døgn, 200 mg Tot N/l) av pilotfilteret 10.08 til 13.08 etterfulgt av middels belastning (30 l per døgn, 200 mg Tot N/l) viste utløpsprøvene høyere konsentrasjoner av nitrat. Høyeste konsentrasjon (44 mg/l) ble påvist 13.08.21 som ble tatt ved avslutning av periode med høy belastning. To prøver tatt 09.09.21 etter en periode med middels belastning viste en snittverdi for nitrat på 32 mg/l. For de samme prøvene ble det påvist nitritt i konsentrasjoner som varierte fra 7,4 til 11,2 mg/l. Ammonium ble påvist i relativt lave konsentrasjoner fra 1,2 til 3,2 mg/l, der den høyeste konsentrasjonen ble påvist 13.08.

Konsentrasjonene av klorid var høyest for de første prøvene og avtok etter hvert. Dette antas å ha sammenheng med utvasking av klorid fra skjellsand i filtermaterialet. Klorid økte litt i forbindelse med perioden med høy belastning.

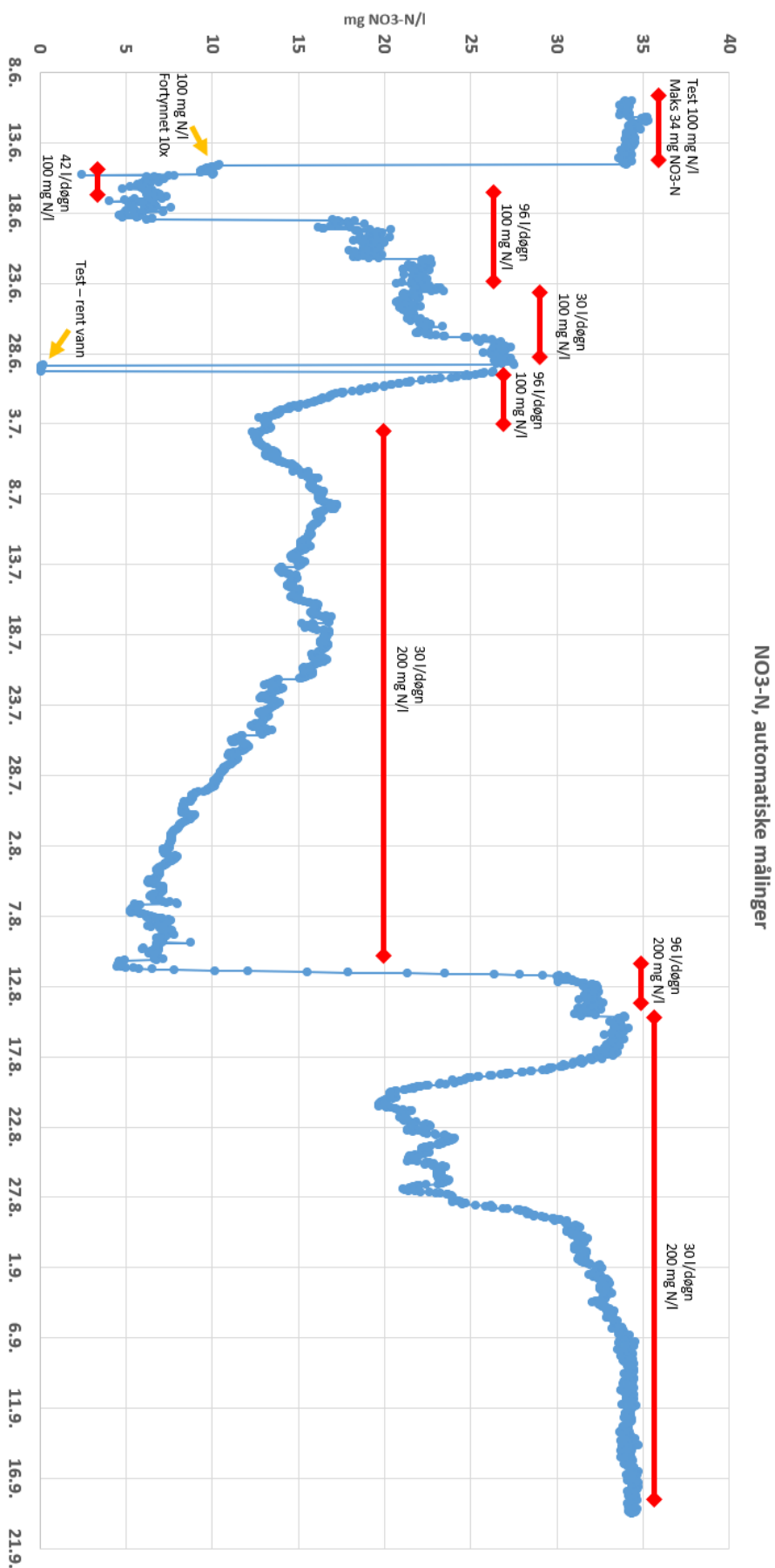
Tabell 10. pH, konduktivitet, Tot N, NH4-N, NO3-N, DOC og kalsium i utløp fra pilotfilter.

Dato	Belastning	Cl	NO2-N	NO3-N	SO4	Na	NH4-N	K	Ca	Mg
	Hyd/Tot N	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
22.06	96/100	12,9	0	1,1	21,1	22,0	2,6	11,0	213	16,0
28.06	30/100	16,1	0	0	24,2	19,0	2,0	13,6	296	20,1
01.07	96/100	9,3	0	0	21,2	13,2	0,5	4,7	217	12,3
18.07	30/100	8,5	0	0,2	0,9	8,8	0	3,6	151	7,2
18.07	30/200	3,9	0	0	0,5	5,1	0	1,6	116	4,6
09.08	30/200	5,0	0	0,2	7,3	6,3	0	1,6	105	4,8
09.08	30/200	2,6	0	0	4,5	3,4	0	1,6	89	3,0
13.08	96/200	2,9	7,4	44	6,6	3,9	3,2	1,9	103	3,2
09.09	30/200	4,4	11,2	36	9,5	5,8	2,3	2,0	135	4,9
09.09	30/200	3,4	8,9	28	9,4	4,3	1,2	1,5	144	3,7

2.4 Automatiske målinger

2.4.1 Optisk nitrat

Figur 12 viser variasjoner for optisk målt nitrat (NO₃-N) i utløpet fra pilotfilteret gjennom hele forsøksperioden, med angivelse av belastning og testing av målinger på tidslinja. Måleintervallet for den optiske sensoren er 0-30 mg nitrat per liter, men i praksis viser den måleverdier opp til rundt 33 mg/l. Måleverdier på 33 eller 34 mg/l indikerer dermed verdier som ligger høyere og utenfor måleintervallet, slik det var tilfellet for en innledende testperiode der sonden ble satt i en innløpsløsning med over 80 mg nitrat/l.



Figur 12. Viser automatiske optiske målinger av nitrat (NO3-N) med sensor Trios NICO™ i perioden 10.06-18.09.21.

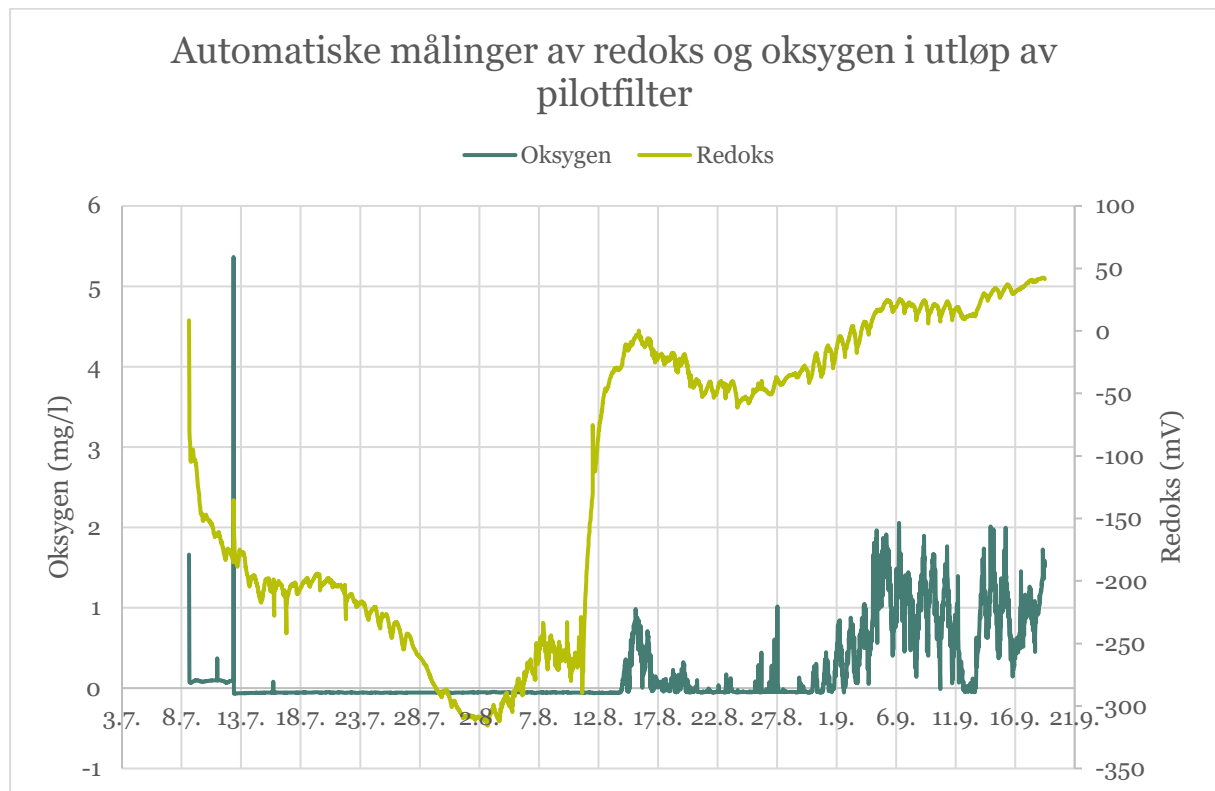
2.4.2 Redoks, oksygen, pH, ledningsevne, turbiditet og vanntemperatur

Multiparametersonden med målinger av redoks (Eh), oksygen, pH, ledningsevne, turbiditet og vanntemperatur ble installert 08.07.21 og målte fram til forsøket ble avsluttet 18.09.21.

Innledningsvis ble det målt et par høyere verdier av oksygen, som følge av vedlikehold og flytting av sonden. I perioden 13.07 til 13.08 var utløpsvannet helt fritt for oksygen (figur 13). Rett etter perioden med høy belastning 10.08-13.08 (96 l/døgn, 200 mg N/l) økte oksygenkonsentrasjonen i utløpsvannet noe, og til maksimalt 1 mg/l. Deretter var utløpsvannet tidvis oksygenfritt i perioden 16.08-29.08, men med kortvarige økninger opp til 1 mg/l. Fra 29.08 og utover i september til avslutning av forsøket 18.09.21 viste målingene jevnt over høyere verdier for oksygen og med maksverdier opp mot 2 mg/l.

Målingene av redokspotensial (Eh) bekrefter oksygenmålingene, men viser variabiliteten i redokspotensial når oksygenet er brukt opp. Innledningsvis bruker redokselektroden noe tid på å stabilisere seg, og synes å være stabil når den når et nivå på -150 mV rundt 10.07.21. Deretter avtar redokspotensialet gradvis ned til -300 mV (teoretisk antatt laveste redoksverdi som kan skapes av mikrobiell aktivitet) 02.08.21. Det skjer en mindre økning fram til 10.08, men under og rett etter perioden med høy belastning 10.08-13.08, så øker verdiene opp til en maksverdi rett over null mV. Deretter avtar verdiene noe igjen fram til 23.08 før de igjen stiger. Målingene overstiger null mV 02.09.21 og etter det ligger de over null med et maksimum på 42 mV ved forsøkets avslutning 18.09.21.

Målingene av oksygen og redoks er verdifulle forklaringsvariabler for nitrogenfjerning gjennom denitrifikasjon. Med oksygen til stede og redoksverdier over null mV, vil forholdene for denitrifikasjon være vesentlig dårligere. Dårlige forhold for mikroorganismene, både denitrifikasjons- og nitrifikasjonsbakterier kan forklare dannelsen av nitritt i den siste fasen av forsøket.

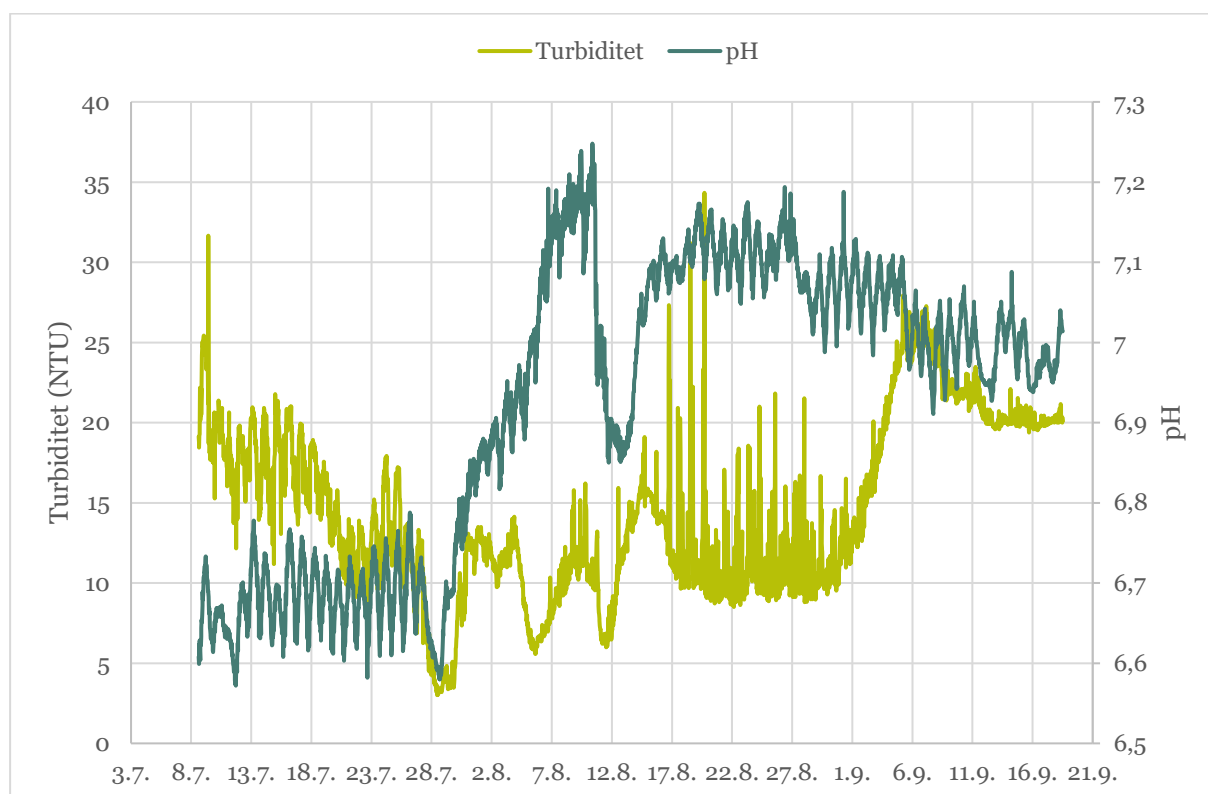


Figur 13. Automatiske målinger av oksygen (mg/l) og redoks (mV) i utløpsvann fra pilotfilter i perioden 08.07-18.09.21.

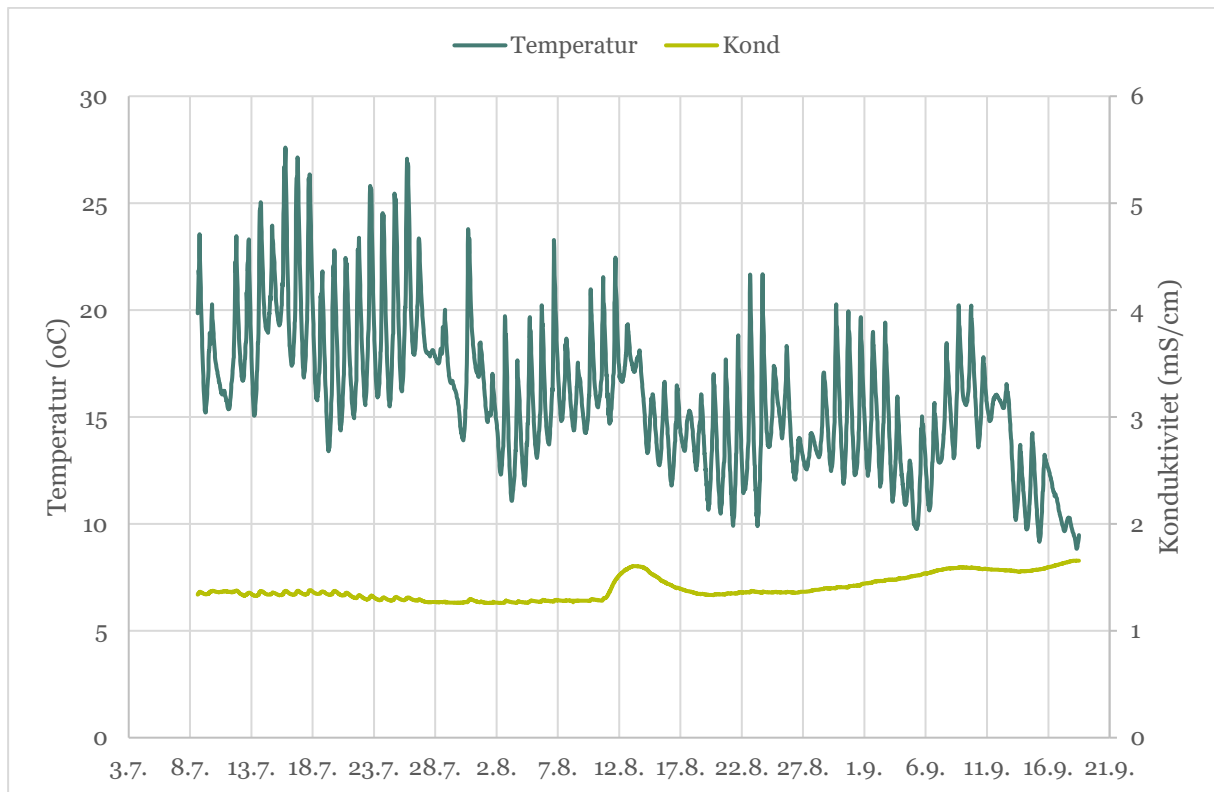
Turbiditeten viste høye verdiene rett etter installasjon 08.07.21, men avtok raskt til nivåer 15-20 NTU (figur 14). I perioden med lav belastning fram til 29.07.21 viste turbiditeten avtakende verdier til et minimum på 3 NTU. I fortsettelsen fram til 16.08 viste turbiditeten sykliske endringer i intervallet 5-19 NTU. Fra 16.8 til 31.08 var det stor variasjon i turbiditet, men hovedtyngden av målingene lå rundt 12 NTU. Fra 01.09 til 06.09 var det en tydelig økt turbiditet til maks 25 NTU, deretter avtok turbiditeten noe fram til avslutning 18.09.21.

pH varierte mellom 6,6 og 7,2, med de høyeste verdiene 10.08.21, dvs. i slutten av en lang periode med lav belastning. Under høy belastning 10.08-13.08.21 avtok pH, får så å stige igjen når belastningen ble justert til middels. Mot slutten av forsøket ble pH gradvis noe lavere.

Figur 15 viser vanntemperatur og konduktivitet i utløpskaret til pilotforsøket.



Figur 14. Automatiske målinger av turbiditet (NTU) og pH i utløpsvann fra pilotfilter i perioden 08.07-18.09.21.



Figur 15. Vanntemperatur(°C) og konduktivitet (mS/cm) i utløpsvann fra pilotfilter i perioden 08.07-18.09.21.

2.5 Vurdering av oppholdstid, N-tilførsel og rensegrad

Rensegrad for Tot N og nitrat (NO₃-N) ved ulike hydraulisk belastning og tilførte konsentrasjoner av Tot N er vist i tabell 11. I den første måleperioden etter oppstart av biofilteret (14.16-16.06) var rensegraden for Tot N på 51 %. Den neste måleperioden med hydraulisk belastning 96 l/døgn, konsentrasjon 110 mg N/l og en oppholdstid i filteret mellom 2 og 3 døgn viste en rensegrad for Tot N på 95 % og en rensegrad for nitrat på 98 %. En periode (23.06-28.06) med lavere hydraulisk belastning (30 l/døgn) og en oppholdstid i filteret på mellom 7 og 10 døgn viste rensegrad for Tot N på 95 % og for nitrat på 99 %. Påfølgende periode (28.06-03.07) med økt hydraulisk belastning (96 l/døgn) viste en rensegrad for Tot N på 98 % og 100 % for nitrat. En lengre periode (03.07-10.08) med lav hydraulisk belastning (30 l/s) og doblet N-konsentrasjon (230 mg/l) viste en rensegrad både for Tot N og nitrat nær 100 %.

I perioden 10.08-13.08 ble biofilteret kjørt med en kombinasjon av høy (96 l/døgn) hydraulisk belastning og doblet N-konsentrasjon (230 mg N/l). I denne perioden var målt rensegrad lavere, henholdsvis 48 % for Tot N og 70 % for nitrat. Målinger i utløpsvannet viste økende redoks- og oksygenverdier i utløpsvannet, noe som indikerte at biofilteret var periodisk overbelastet. I den siste forsøksperioden 13.08-18.09 ble biofilteret kjørt med en hydraulisk belastning på 30 l/døgn og en tilført Tot N på 230 mg/l. Oppnådd rensegrad i den siste perioden var 66 % for Tot N og 81 % for nitrat.

Tabell 11. Viser regime for hydraulisk belastning og N-konsentrasjoner tilført pilotfilteret, teoretiske og målte oppholdstider samt rensegrad for Tot N og NO₃-N for de ulike forsøksperiodene.

Periode	Hydraulisk (l/døgn)	Tot N (mg/l)	Oppholdst. teoretisk (døgn)	Oppholdst. tracer (døgn)	Rensegrad Tot N (%)	Rensegrad NO ₃ -N (%)
14.06-16.06	42	100 (110)*	7,1	4,8	51	99
16.06-23.06	96	100 (110)*	3,1	2	95	98
23.06-28.06	30	100 (110)*	10	6,7	95	99
28.06-03.07	96	100 (110)*	3,1	2	98	100
03.07-10.08	30	200 (230)*	10	6,7	100	100
10.08-13.08	96	200 (230)*	3,1	2	48	70
13.08-18.09	30	200 (230)*	10	6,7	66	81

* Viser både blandet og målt konsentrasjon av Tot N. Målt i parentes.

Resultatene fra periodene 28.06-03.07 og 10.08-13.08 indikerte at biofilteret hadde en kapasitet til å rense 9,6 g N per dag, eller rundt 23 g N per m³ filtermateriale og døgn. Oppskalert vil dette tilsvare en rensing av 23 kg N per døgn i et filter på 1000 m³. Gitt slike gunstige forhold for N-rensing i en periode på 100 døgn, så vil et 1000 m³ filter kunne fjerne 2,3 tonn N. Hvorvidt en kan oppnå en slik rensing i et fullskala filter vil avklares nærmere etter oppfølging av fullskala renseløsning i Nordlandsdalen.

3 Sammen drag og vurderinger

3.1 Risteforsøk

Virke av ulike treslag samt røtter ble hentet fra ranker lagt opp under avvirkning av anleggsarealer for E16 Bjørum-Skaret. Rankene ble lagt opp med tanke på produksjon av filtermateriale til biofilter for N-fjerning. Virke av gråor, ask, gran, selje og røtter ble flishogd i grove fraksjoner. I tillegg ble det skaffet til veie grov skjellsand samt strøgrus av kalkstein, som ble vurdert som de mest aktuelle materialene for å opprettholde en stabilt høy pH under drift av biofilteret.

Risteforsøket med flishugd virke av nevnte materialer viste ulik avgivelse av løst organisk karbon (DOC) til vannfasen. Ask, røtter og gråor ga størst utlekking av organisk materiale (400-670 mg DOC/l), mens bark, gran og selje ga mindre (130-270 mg/l). Selje, bark og gråor størst utlekking av fosfor, med målte konsentrasjoner i intervallet 4,9-7,7 mg P/l).

pH i flishugd virke varierte mellom 5,2 og 6,1, mens en blanding av gråor og skjellsand viste en pH på 7. Utlekking av sink varierte mellom fraksjonene, der røtter, gran og selje ga størst utlekking av sink. Gran og ask ga størst utlekking av kobber.

I en samlet vurdering av utprøvd virke framstod gråor som det beste filtermaterialet, da det ga utlekking av rikelig med organisk karbon og en del fosfor. Både organisk karbon og fosfor er nødvendig for å tilrettelegge for en effektiv denitrifikasjon av tilført nitrat fra sprengstoff i biofilteret. Tilsats av skjellsand eller knust kalkstein ble vurdert som nødvendig for å opprettholde en tilfredsstillende pH for effektiv denitrifikasjon uten uønsket produksjon av lystgass.

Basert på risteforsøket ble flishugd gråor vurdert som det mest egnede filtermaterialet. Skjellsand ble vurdert som det mest aktuelle kalkmaterialet for innblanding, for å sikre stabilt høy pH og god vannledningsevne i biofilteret. Det ble anbefalt innblanding av 10 volumprosent flishogde røtter, for å sikre tilførsel av kim av denitrifikasjonsbakterier fra lokal jord.

Disse anbefalingene dannet grunnlaget for produksjon av filtermaterialer til fullskala biofilter for N-rensing i Nordlandsdalen, som ble gjennomført av totalentreprenør Skanska.

3.2 Pilotfilter

Filtermaterialet til pilotfilteret ble blandet manuelt og besto av 40% gråor, 20% selje, 20% røtter og 20% skjellsand (volum %). Det ble tilsatt en mindre mengde sukker samt kim fra organisk bekkesediment til hver blandedunk. Totalt ca. 350 liter filtermateriale samt 30 l grov singel ble skjøvet og komprimert inn i røret for pilotfilteret.

Pilotfilteret ble eksponert for en nitratløsning med konsentrasjon 100 mg N/l fra 10.06.21. Kontrollerte forsøk med definert hydraulisk belastning av valgte N-konsentrasjoner ble startet 14.06.21. Forsøket ble avsluttet 18.09.21 etter gjentatte omganger med ulik belastning, og tilhørende uttak av prøver for dokumentasjon av rensegrad for nitrogen. Forsøket ble kjørt med hydrauliske belastninger fra 30-93 l/døgn og N-konsentrasjoner (basert på innveid) på hhv. 100 og 200 mg Tot N/l.

I perioden rett etter oppstart med en hydraulisk belastning på 42 l/døgn og en konsentrasjon av Tot N på 100 mg/l, viste biofilteret en rensegrad for nitrogen på 51 %. Under forsøksperioder med ulik belastning fram til 10.08.21 viste biofilteret rensegrad mellom 95 og 100 % for Tot N og mellom 98 og 100 % for nitrat.

Ved en kombinasjon av en hydraulisk belastning på 96 l/døgn og 200 mg N/l i perioden 10.08-13.08 sank rensgraden for Tot N til 48 % og for nitrat til 70 %. Kontinuerlige målinger viste stigende redoksverdier i utløpsvannet, noe som indikerte at filteret var overbelastet.

Foreløpige resultater indikerte at biofilteret hadde en kapasitet til å rense 9,6 g N per dag, tilsvarende 23 g N per m³ filtermateriale og døgn.

Kontinuerlige målinger av nitrat (optisk sensor), redoks, oksygen, vanntemperatur, pH og turbiditet i utløpsvannet har gitt viktig informasjon om forholdene for nitrogenrensing i biofilteret gjennom perioder med ulik belastning. Rensingen av Tot N og nitrat har blitt supplerende dokumentert gjennom analyse av inn- og utløpsprøver på to laboratorier. Tilsvarende har disse analysene gitt informasjon om andre parametere i inn- og utløpsvann, herunder viktige parametere som løst organisk karbon, fosfor, ammonium, nitritt, metaller samt viktigste kationer og anioner. Rett etter oppstart ga filteret uønsket høye utløpskonsentrasjoner av løst organisk karbon (DOC), men disse normaliserte seg etter hvert. Tilsvarende gjaldt for fosfor. Metallene viste raskt normale og lave verdier, etter initielt høye verdier, særlig for sink.

Optiske målinger av nitrat i utløpsvannet fra filteret ble forstyrret av høyt innhold av løst organisk karbon, særlig i begynnelsen av forsøket. Dette medførte at målingene viste høyere konsentrasjoner av nitrat enn laboratorieanalysene. Dette er en kjent kilde til målefeil for nitrat målt med optisk sensor.

4 Anbefalinger - fullskala anlegg Nordlandsdalen

Basert på erfaringene med pilotforsøket ble det gitt følgende anbefaling mht. fullskala anlegg i Nordlandsdalen:

- Filtermaterialet produseres med sams flishugging av ranker med løvvirke dominert av gråor
- Rankene hugges som grov flis for god hydraulisk kapasitet
- Det blandes inn 10 volumprosent flishugde røtter for å tilføre ønskede kim av mikroorganismer
- Det blandes inn 20 volumprosent skjellsand for å sikre tilfredsstillende pH for denitrifikasjon samt god og stabil hydraulisk kapasitet.
- I tillegg ble det gitt føringer for å tilrettelegge for prøvetaking, automatisk måling, kontroll og dokumentasjon av rensegrad og anleggsfunksjon.

5 Litteratur

Bolme, I. og Nonstad, B. 2017. Feltforsøk med ulik strøsandkvalitet. Etatsprogram vinterdrift. Statens vegvesens rapporter, Rapport nr. 550.

Hoffmann, C., Larsen, S. and Kjaergaard, C. 2019. Nitrogen Removal in Woodchip-based Biofilters of Variable Designs Treating Agricultural Drainage Discharges. *Journal of Environment Quality*. 48 (6).

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.

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: Pilotfilter. Foto: Roger Roseth. Baksidefoto: Ferdig blandet filtermateriale. Foto: Roger Roseth.