

2397

NINA Rapport

Miljøovervåkingsprogram for Kollsnes landanlegg, Øygarden.

Overvåking av vegetasjon og jord – endringer fra 1995 til 2023

Mari Jokerud, Heidi Myklebost, Robert Lewis og Hanna Silvennoinen.



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Miljøovervåkingsprogram for Kollsnes landanlegg, Øygarden.

Overvåking av vegetasjon og jord – endringer fra 1995 til 2023.

Mari Jokerud
Heidi Myklebost
Robert Lewis
Hanna Silvennoinen

Jokerud, M., Myklebost, H., Lewis, R., & Silvennoinen, H. 2024.
Miljøovervåkingsprogram for Kollsnes landanlegg, Øygarden.
Overvåking av vegetasjon og jord – endringer fra 1995 til 2023.
NINA Rapport 2397. Norsk institutt for naturforskning

Bergen, februar 2024

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-5203-4

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Joachim Tøpper

ANSVARLIG SIGNATUR

Forsknings sjef Geir Helge Rødli Systad (sign.)

OPPDRAGSGIVER

Equinor ASA

KONTAKTPERSON HOS OPPDRAGSGIVER

Ive Helen Skaga

FORSIDEBILDE

Til venstre: innsamling av røsslyng til kjemiske analyser. Til høyre:
vegetasjons analyserute ved K3. © Mari Jokerud

NØKKELORD

Kollsnes, Øygarden, Vestland

Oljeindustri, prosessanlegg, miljøovervåking, overvåkingsrapport

Luftforurensing, nitrogen gjødsling, eutrofiering, forsuring

Vegetasjon, artssammensetning, nedbørsmyr, kystlynghei

Plantekjemi, jordanalyser, jordvannanalyser, tungmetaller, gjen-

analyser, røsslyng, *Calluna vulgaris*,

KEY WORDS

Kollsnes, Øygarden, Vestland

Oil industry, process plant, environmental monitoring

Air pollution, nitrogen fertilization, eutrophication, acidification

Vegetation, species composition, bogs, heathland

Plant chemistry, soil analyses, ground water analyses, heavy

metals, re-analyses, heather, *Calluna vulgaris*,

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Jokerud, M., Myklebost, H., Lewis, R., & Silvennoinen, H. 2024. Miljøovervåkingsprogram for Kollsnes landanlegg, Øygarden. Overvåking av vegetasjon og jord – endringer fra 1995 til 2023. NINA Rapport 2397. Norsk institutt for naturforskning

Prosessanlegget på Kollsnes i Øygarden kommune ble åpnet i 1996 og utvidet i 2004. Det spiller en viktig rolle i eksport av gass til Europa fra norsk kontinentalsokkel, og rundt 40 prosent av all norsk gasseksport går via anlegget på Kollsnes. Prosessanlegget mottar gassen fra feltene Troll, Kvitebjørn, Visund og Fram, anlegget slipper bl.a. ut karbondioksid (CO₂), nitrogenoksider (NO_x), metan (CH₄), flyktige organiske forbindelser utenom metan (NMVOC) og svoveldioksid (SO₂) fra energiproduksjon og prosessanlegg. Utslippene fra anlegget er beregnet til å ligge under gjeldene kritiske tålegrenseverdier for terrestriske naturtyper, men tålegrenseverdiene er noe usikre. For å kunne dokumentere eventuelle effekter av utslipp til luft, ble det i 1995 før anlegget ble åpnet (ingen utslipp) etablert et overvåkingsprogram for vegetasjon og jord rundt anlegget på Kollsnes. Grunnlagsundersøkelsen ble utført samme år, og det ble utført gjenanalyser i 1998, 2003, 2008, 2013, 2018 og 2023 etter samme metodikk som i 1995.

Fem lokaliteter ble opprettet i 1995, vegetasjonen overvåkes i permanent oppmerkede ruter (1x1 meter). I hver rute registreres prosentvis dekning av karplanter, moser og lav. Røsslyng blir analysert for kjemisk innhold av karbon og nitrogen fra 1995 til 2023, fra 2023 blir planteprovne også analysert for bor, jern, kalium, kalsium, kobber, magnesium, mangan, molybden, sink, svovel og fosfor. Jordprøver blir analysert for glødetap, pH, karbon, nitrogen, kalium, kalsium, magnesium og natrium hvert femte år fra 1995 til 2023, fosfor ble lagt til jordkjemianalysene i 2023.

Overvåkingsprogrammet ved anlegget ved Kollsnes har et klart forbedringspotensiale når det gjelder studiedesign. Slik programmet er satt opp i dag, er det ingen klar referanselokalitet som er uavhengig av utslippene ved Kollsnes. Antall analyseruter for vegetasjon og jordkjemi er i tillegg altfor få med tanke på statistisk robusthet og evne til mer sikkert å oppdage mulige endringer over tid og hvorvidt endringen kan tilskrives utslipp fra Kollsnes. Rapporten foreslår å utvide overvåkingsprogrammet for vegetasjon og jord ved Kollsnes slik at det blir lettere å vite om mulige endringer skyldes anlegget. Overvåkingsprogrammet på Kollsnes vil da ligne overvåkingsprogrammene for Melkøya (Equinor ASA) og Nyhamna (Norske Shell AS).

Plantesamfunnene i kystlyngheiene på lokalitetene rundt anlegget på Kollsnes deler mange av de samme artene, men de har likevel litt ulik artssammensetning. Det er en signifikant endring i artssammensetning over tid, som trolig skyldes opphør av avsviing av kystlyngheiene, også kjent som lyngbrenning. Med dagens overvåkingsprogram er det vanskelig å si hvorvidt endringen i plantesamfunnene skyldes en eventuell forurensing fra anlegget på Kollsnes.

Plantefysiologiske målinger (NDVI) ble gjennomført for første gang i 2023 og resultatene viser at vegetasjonen har god plante helse. Mengden karbon i toppskuddene av røsslyng har økt signifikant siden målingen ble startet i 1995. Dette skyldes mest sannsynlig at biomassen (karbon) øker med kystlyngheias utviklingsfaser, jo eldre røsslyngen blir jo mer biomasse akkumuleres, dette er en naturlig utvikling siden kystlyngheiene i området i dag ikke skjøttes.

Siden målingene av pH i jord startet i 1995 har pH økt signifikant over tid, det kan skyldes en naturlig, lokal utvikling eller være forårsaket ved kjemisk påvirkning på jord eller ved endringer i plantesamfunn og funksjon på grunn av prosessanlegget. Resultatene fra jordprøvene på Kollsnes tyder på en utarming av kationer (signifikant reduksjon i mengden av både Ca²⁺ og Na⁺) som i tillegg til forsuring er en kjent konsekvens av jordeksponering for forhøyede CO₂-konsentrasjoner. Prosessanlegget kan ha påvirket jordkjemien i Kollsnes, på grunn av databegrensninger, altså mangel på referanseområde samt grunt prøvetakingsregime, er det nødvendig med ytterligere undersøkelser før konklusjoner trekkes.

Overvåkingsprogrammet ved anlegget ved Kollsnes har et klart forbedringspotensialet når det gjelder studiedesign. Slik programmet er satt opp i dag er det ingen klar referanselokalitet som er uavhengig av utslippene ved Kollsnes. Vi anbefaler at overvåkingsprogrammet utvides slik at mulige endringer på jord og vegetasjon kan undersøkes for hvorvidt de kan tilskrives til anlegget på Kollsnes.

Mari Jokerud. NINA Bergen, Thormøhlensgate 55, 5006 Bergen. mari.jokerud@nina.no

Heidi Myklebost. NINA Trondheim, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.

Robert Lewis. NINA Bergen, Thormøhlensgate 55, 5006 Bergen.

Hanna Silvennoinen. NINA Trondheim, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.

Abstract

Jokerud, M., Myklebost, H., Lewis, R., & Silvennoinen, H. 2024. Miljøovervåkingsprogram for Kollsnes landanlegg, Øygarden. Overvåking av vegetasjon og jord – endringer fra 1995 til 2023. NINA Report 2397. Norwegian Institute for Nature Research.

The processing plant at Kollsnes in Øygarden municipality plays an important role in the export of gas to Europe from the Norwegian continental shelf. Established in 1996 and expanded in 2004, the Kollsnes plant processes natural gas from Troll, Kvitebjørn, Visund gas fields which combined accounts for approximately 40 percent of all Norwegian gas exports. Processing natural gas emits carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxides (NO_x), methane (CH₄) and non-methane volatile organic compounds (NMVOC), and sulfur dioxide (SO₂). At Kollsnes, these emissions are calculated to be below the applicable critical tolerance values for terrestrial habitats, tolerance values that are however somewhat uncertain. To be able to document any effects of emissions, in 1995, prior to any industrial emissions, a monitoring program was established for vegetation and soil surrounding the planned facility at Kollsnes. The 1995 baseline survey was subsequently repeated in 1998, 2003, 2008, 2013, 2018 and 2023 following exact methodology as in 1995.

Five localities were established where the vegetation composition is monitored in permanently marked plots (1x1 metres). In each plot, the percentage coverage of vascular plants, mosses and lichens are recorded. *Calluna vulgaris* (Heather) is analysed for the chemical content of carbon and nitrogen. Soil samples were analysed for loss on ignition, pH, carbon, nitrogen, potassium, calcium, magnesium, and sodium every five years from 2003 to 2023, repeating the baseline chemical analyses completed in 1995 and 1998. In 2023, phosphorus was added to the soil chemical analyses and boron, iron, potassium, calcium, copper, magnesium, manganese, molybdenum, zinc, sulphur to the vegetation chemical analyses.

The monitoring program at the facility at Kollsnes has clear potential for improvements in terms of study design. As the program is set up today, there is no clear reference location that is independent of the emissions at Kollsnes and the number of survey plots for vegetation and soil chemistry are far too few in terms of statistical robustness, limiting the ability to reliably document changes over time, and whether the change can be attributed to emissions from Kollsnes. This report suggests expanding the monitoring program for vegetation and soil at Kollsnes so to comprehensively understand ecological changes in the area and moreover reliably evidence whether such changes are linked to the natural gas processing plant at Kollsnes.

The coastal heaths around the facility at Kollsnes share many of the same species, yet still maintain a slightly different species composition. There was a significant change in species composition over time, likely due to the cessation of traditional land management practices, specifically the burning of the coastal heather, also known as heather burning. With the current monitoring programme, it is difficult to say whether the change in vegetation is due to possible pollution from the plant at Kollsnes.

Plant physiological measurements (Normalized difference vegetation index - NDVI) were carried out for the first time in 2023 and the results show that the vegetation has good plant health. The amount of carbon in the top shoots of heather has increased significantly since the measurement was started in 1995. This is likely due to the biomass (carbon) increasing with the coastal heather's development phases, the older the heather gets, the more biomass accumulates. This is a natural development since the coastal heathers in the area today are not actively managed.

Since the measurements of pH in soil started in 1995, pH has increased significantly over time, this may be due to a natural, local development or be caused by chemical effects on the soil or by changes in plant communities and function due to the processing plant. The results from the soil samples at Kollsnes indicate a depletion of cations (significant reduction in the amount of both Ca²⁺ and Na⁺) which, in addition to acidification, is a known consequence of soil exposure

to elevated CO₂ concentrations. The processing plant may have affected the soil chemistry in Kollsnes, due to data limitations, i.e. lack of reference area and shallow sampling regime, further investigations are necessary before conclusions are drawn.

Mari Jokerud. NINA Bergen, Thormøhlensgate 55, 5006 Bergen. mari.jokerud@nina.no
Heidi Myklebost. NINA Trondheim, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.
Robert Lewis. NINA Bergen, Thormøhlensgate 55, 5006 Bergen.
Hanna Silvennoinen. NINA Trondheim, Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim.

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	5
Innhold	7
Forord	8
1 Innledning	9
2 Områdebeskrivelse	11
2.1 Geologi og landformer.....	11
2.2 Klima og forurensingsbelastning	11
2.2.1 Vindretning	11
2.2.2 Spredningsforhold og stabilitet	12
2.2.3 Komponenter som slippes ut fra anlegget	12
2.2.4 Utslipp til luft	13
2.3 Flora.....	13
2.4 Overvåkingsområdet og vegetasjon.....	14
3 Materiale og metoder	18
3.1 Analyser av vegetasjon	18
3.2 Plantefysiologiske målinger.....	18
3.3 Kjemiske analyser av plantevev fra lav og moser	19
3.4 Kjemiske analyser av jord	20
3.5 3.3 Statistisk bearbeiding	20
4 Resultat	21
4.1 Vegetasjon	21
4.1.1 Artsrikhet	21
4.1.2 Forskjeller i artssammensetning og endringer over tid	21
4.2 Grønnhet (NDVI).....	23
4.3 Kjemiske analyser av røsslyng.....	24
4.4 Jord	24
4.4.1 Glødetap, pH og nitrogenforbindelser i jord	24
4.4.2 Makronæringsstoffer i jord	26
5 Diskusjon	27
5.1 Vegetasjon	27
5.2 NDVI	27
5.3 Røsslyng	28
5.4 Jord	28
6 Anbefaling for videre overvåking	30
6.1 Nytt overvåkingsdesign Kollsnes.....	30
7 Referanser	31
8 Vedlegg	34
8.1 Vedlegg 1. Oversikt over alle data fra 1995 til 2023.....	34
8.2 Vedlegg 2. Oversikt over antall arter innen funksjonelle grupper	34
8.3 Vedlegg 3. Regresjonsanalyse av artssammensetningen.....	35
8.4 Vedlegg 4. Oversikt over kjemiske analyser av jord	36

Forord

Equinor ASA har utarbeidet et miljøovervåkingsprogram for utbygging og drift av Kollsnes som omhandler utslipp til sjø og luft, inkludert påvirkning av ferskvann og terrestrisk miljø. Overvåkingen for det terrestriske miljø er lagt opp som en langsiktig studie av vegetasjon og jordsmonn i influensområdet av utslipp til luft fra anlegget på Kollsnes. I 2023 fikk NINA i oppdrag å utføre gjenundersøkelsen for det terrestriske overvåkingsprogrammet. Denne rapporten omhandler innsamlet data fra 2023, ny vurdering med statistiske undersøkelser av mulige påvirkninger på naturmiljøet fra anlegget på Kollsnes siden oppstarten av programmet i 1995 og forslag til videre overvåking.

Kontaktpersonen ved Equinor ASA var Ive Helen Skaga og jeg vil takke for et godt samarbeid i prosjektperioden.

Eurofins Agro Testing Norway AS har gjort alle kjemiske analyser. Heidi Elin Myklebost har bidratt til lagring og tilretteleggingen av dataene for analyse, Rob Lewis og Mari Jokerud gjorde feltarbeidet med vegetasjonsanalyser, plante- og jordprøver, Mari Jokerud har ledet rapporten, Heidi Elin Myklebost og Rob Lewis har bidratt med tekst og Hanna Silvennoinen har bidratt med tolkning av resultatene på jord.

Februar 2024, Bergen

Mari Jokerud

1 Innledning

Kollsnes er et prosessanlegg for gass som ligger på den sørlige delen av øya One i Øygarden kommune i Vestland fylke. Anlegget ble åpnet i 1996 og utvidet i 2004. Prosessanlegget mottar gassen fra feltene Troll, Kvitebjørn, Visund og Fram, og kan behandle opp til 144,5 millioner Sm³ tørrgass og 8 500 Sm³ NGL/kondensat i døgnet (Miljødirektoratet 2022a). Prosessanlegget spiller en viktig rolle i eksport av gass til Europa fra norsk kontinentalsokkel, og ca. 40 prosent av all norsk gasseksport går via anlegget på Kollsnes (Equinor ASA 2023).

Kollsnes prosessanlegg slipper bl.a. ut karbondioksid (CO₂), nitrogenoksider (NO_x), metan (CH₄), flyktige organiske forbindelser utenom metan (NMVOC) og svoveldioksid (SO₂) fra energiproduksjon og prosessanlegg. Utslippene varierer gjennom året, og fra år til år (**Tabell 1**).

Tabell 1. Utslippsdata til luft fra Kollsnes fra 1996 til 2022. Mengde oppgitt i tonn per år. Data er levert av Equinor og Miljødirektoratet <https://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompagnyID=6426>.

År	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	CH ₄	nmVOC
2013	63.03	40.9	27.9	0.19	877	768
2014	63.73	40.6	22.8	0.18	1 403	814
2015	62.33	41.0	21.8	0.13	1 406	814
2016	63.07	40.3	23.5	0.14	1 197	458
2017	62.79	40.6	22.7	0.14	1 196	457
2018	64.97	44.7	30.9	0.16	1 196	457
2019	65.98	44.2	30.8	0.12	615	118
2020	61.34	42.3	30.4	0.14	615	118
2021	57.39	22.0	28.2	0.11	552	199
2022	56.58	19.1	40.9	0.12	301	196
2023	59.22	40.9	23.1	0.11	756	300
Enhet	1000 tonn/år	tonn/år	tonn/år	tonn/år	tonn/år	tonn/år

Etter utbyggingen ble det startet en miljøovervåking i nærheten av anlegget. Overvåkingen har omfattet kjemiske og biologiske undersøkelser i ferskvann, vegetasjonsanalyser og kjemiske undersøkelser av jord og røsslyng ved fem fastruter på One og Blomøy.

Miljøgrunnlagsundersøkelse på Kollsnes ble gjort i 1991 og da ble flora og vegetasjon detaljkartlagt (Lundberg & Hansen 1992). I 1995 ble selve grunnlagsundersøkelsene av overvåkingsrutene gjennomført, de ble alle plassert i kystlynghei. Og gjen-analysene ble gjennomført i 1998, 2008, 2013, 2018 (Hobæk et al. 2009, Håland 2014, 2018, Skogen & Hansen 1999).

I 2023 ble de faste vegetasjonsrutene gjenanalysert av NINA og følgende tema inngår i overvåkingsprogrammet for vegetasjon og jord:

- Vegetasjonsovervåking av arter og plantesamfunn inkludert kjemiske analyser for makronæringsstoffer i røsslyng (*Calluna vulgaris*)
- Overvåking av jordkemi, særlig med tanke på pH og løselighet av mineralnæring.
- Overvåking av plantehelse med plantenes grønnhet, NDVI.

Tradisjonell skjøtsel av kystlynghei innebar avsviing, også kalt lyngbrenning som ble gjort på et tidspunkt der røsslyng (*Calluna vulgaris*) og eventuelle andre lyngarter som krekling (*Empetrum nigrum*) og klokkeling (*Erica tetralix*) begynte å bli godt forvedet og med kraftige greiner (Artsdatabanken 2019). Dette ble gjort for å fornye plantene slik at de ble næringsmessig mer attraktive for husdyrene som beitet i kystlynghei. Etter lyngbrenning kommer første stadium som heter pionerfasen. Den har begynnende regenerering av lyng, har sterkt innslag av pionermoser og varer inntil ca. 5 år. Fasen kjennetegnes oftest ved rikelig forekomst av brente greiner av røsslyng, eventuelt også brente einerstammer og -greiner dersom heia var i gjengroing før den ble restaurert eller bruken gjenopptatt (Artsdatabanken 2019). Neste fase er byggefasen, der arts sammensetningen som er typisk for kystlynghei reetableres; lyngen er i aktiv vekst og er ofte rikt blomstrende. Det blir mindre pionermoser og avslutningen av byggefasen inntreffer når lyng (og øvrig vegetasjon) når full dekning, det skjer vanligvis mellom 3–12 år etter brenning (Artsdatabanken 2019). I moden fase har lyngen kraftige greiner, mengden av sideskudd øker og det er tegn til at veksten stagnerer. Et bunnsjukt av store moser og/eller lav er ofte i ferd med å etablere seg og det er begynnende tegn til at sentrum av lyngklonene åpner seg rundt 10–25 år etter brenning. Det er tidlig i denne fasen at tradisjonell lyngheiskjøtsel innebar avsviing (Artsdatabanken 2019). Siste fase er degenereringsfasen, som kjennetegnes ved at lyngen har fått tjukke, lange greiner og sentrum av mange lyngklonene har åpnet seg, det er ofte mer enn 20 år siden siste brenning. Samtidig opptrer klare tegn på begynnende gjenvekstsuksessjon med for eksempel invasjon av einer eller også gjerne einstape (*Pteridium aquilinum*).

Mineralnæring er grunnstoffer som er nødvendig for vekst av alle organismer også kalt bioessensielle grunnstoffer. Plantene tar opp bioessensielle grunnstoffer (makronæringsstoffer og mikronæringsstoffer) fra jordsmonnet via røttene, og de inngår i biogeokjemiske sykluser (Aarnes 2022). Mikronæringsstoffer trengs i lave konsentrasjoner for at en plante skal kunne vokse, utvikle og reproducere seg, større konsentrasjoner kan være giftig for plantene (Reece & Campbell 2011). Eksempler på mikronæringsstoffer er jern, klorid, kobber, mangan, sink, molybden, nikkel og bor. Mikronæringsstoffene kopper, mangan og zink gir direkte giftvirkning og kan samtidig gi jernmangel. Mangel på molybden kan redusere nitrogenassimilasjonen. Planter kan skades av små mengder nikkel, men tåler ofte store mengder aluminium (Aarnes 2022). Makronæringsstoffer er uorganiske grunnstoffer som trengs i store mengder for at planter skal vokse, dette er karbon, hydrogen, oksygen, nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, svovel og magnesium (Reece & Campbell 2011). Makronæringsstoffene finnes vanligvis i større mengder enn 10 mmol per kg tørrvekt i planten. Mye nitrogen gir lang vegetativ vekstperiode og favoriserer patogener som angriper næringsrikt vev, mens lite nitrogen gir svakere planter og raskere aldring og favoriserer sopp som trives på slike planter. Nitrat og ammonium gir effekt på veksten via pH i jorda. Natriumsalter som natriumklorid, natriumsulfat og natriumkarbonat gir pH-stigning i jorda og alkalis-kader. (Aarnes 2022). Grunnstoffer som planten ikke trenger, men som kan hindre opptak av toksiske stoffer eller påvirker osmotisk trykk (natrium hos saltplanter), eller gir epidermis ekstra styrkeegenskaper (silisium) kalles nyttige grunnstoffer (Aarnes 2022).

2 Områdebeskrivelse

2.1 Geologi og landformer

One består hovedsakelig av gneis, samme typen som på Askøy og Sotra. Gneisen på One er grovkornet, hard og forvitret lite, dette danner grunnlag for et næringsfattig og skrint jordsmonn ofte med artsfattige plantesamfunn.

2.2 Klima og forurensingsbelastning

Kollsnes ligger i klart oseanisk seksjon og har et typisk ytre kyststrøk klima med liten årstidsvariasjon (Moen 1998). Gjennomsnittlig middeltemperatur ved målestasjonen på Fedje (SN52535) for årene 2006-2023 var 8,5 °C, gjennomsnittlig minimumstemperatur i perioden 2007-2023 var -3,9 °C og gjennomsnittlig maksimumstemperatur i perioden 2007-2023 var 24,9 °C. Gjennomsnittlig årsnedbør ved målestasjonen ved Blomvåg (SN52475) i perioden 2012-2023 var 1430 mm. Klimadata er hentet fra: <https://seklima.met.no/>. Ifølge Norsk institutt for luftforskning sin miljødatatidsserie for luftovervåking er følgende gjennomsnittlig mengde for nedfall fra luft i perioden 1978 til 2016: svovel (602 mg/m² yr), nitrogen (901 mg/m² yr), kalium (102 mg/m² yr), kalsium (192 mg /m² yr), natrium (6570 mg/m² yr), magnesium (792 mg/m² yr), klorid (11 731 mg/m² yr) og nedbør (2 680 mm) (Aas et al. 2008)(**Tabell 2**).

Tabell 2. Oversikt over nedfall av ulike grunnstoff ved Kollsnes. Data er hentet fra Aas et al. (2017).

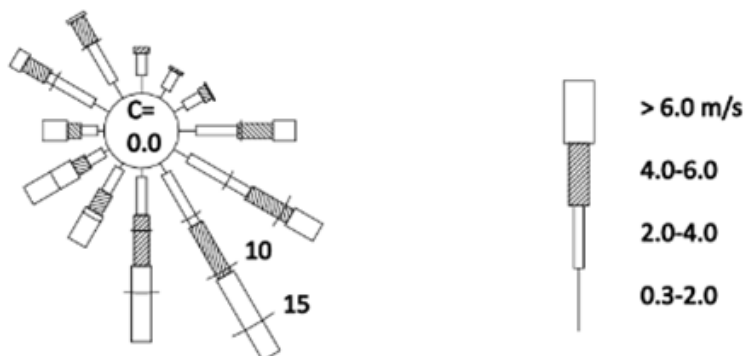
År	Nedbør	Svovel	Nitrogen	Kalium	Kalsium	Natrium	Magnesium	Klorid
1978-1982	2 569	1 148	1 004	113	232	6 961	839	12 430
1983-1987		770	970					
1988-1992	3 197	850	910					
1992-1996	2 460	630	763	66	174	6 757	814	12 066
1997-2001	2 466	474	854	87	105	6 792	818	12 129
2002-2006	2 449	416	897	138	207	5 246	632	9 368
2007-2011	2 491	279	823	149	193	6 818	821	12 175
2012-2016	3 131	252	988	169	243	6 843	824	12 220
Gjennomsnitt	2 680	602	901	120	192	6 570	792	11 731
Enhet	mm	mgS/ m ² år	mgN/ m ² år	mg/m ² år	mg/m ² år	mg/m ² år	mg/m ² år	mg/m ² år

2.2.1 Vindretning

Meteorologiske målinger er avgjørende for å bestemme spredning og transport av luftbåren forurensning. I 2008-2009 ble det utført et måleprogram for luft og nedbørskvalitet ved Kollsnes. De meteorologiske målingene ble foretatt ved Herdlevær målestasjon som ligger nord-vest for Kollsnes. Målingene gav informasjon om været i perioden, men også spredningsforholdene. Det ble også gjort målinger som viser atmosfærenes stabilitet i tillegg til vindretning og vindstyrke som gir informasjon om horisontal spredning (Berglen et al. 2010).

Måleprogrammet viser at den dominerende vindretningen ved Herdlevær målestasjon var fra sørsørøst og sør (**Figur 1**). Det ble målt en midlere vindstyrke på 4.8 m/s (lett bris etter Beauforts skala), maksimalt timemiddel 17,4 m/s (sterk kuling) og maksimalt vindkast 37,2 m/s (orkan) (Berglen et al. 2010).

Det er tidligere utført meteorologiske målinger ved stasjonene Breivik og Rossnes som også ligger ved Kollsnes. Målingene er utført i perioden fra 1. juli 1991 til 30. juni 1992 og viser samme trend, med dominerende vindretning fra sør og sør-øst (Knudsen et al. 2002).



Figur 1. Vindrose for Herdlevær viser prosentvis fordeling hvor vinden kommer fra (delt i 12 sektorer) og vind-styrke (delt i 4 sektorer). Målingene er foretatt fra desember 2008 til november 2009. Figuren er hente fra (Berglen et al. 2010).

2.2.2 Spredningsforhold og stabilitet

Spredningsevne uttrykkes ved luftas stabilitet som baseres på temperaturdifferansen (ΔT) mellom 10 og 2 meter over bakke. Stabilitet angis i fire stabilitetsklasser; Klasse I - ustabil sjiktning, klasse II - nøytral sjiktning, klasse III - lett stabil sjiktning og klasse IV - stabil sjiktning (Berglen et al. 2010).

Ustabile og nøytrale forhold gir god spredning av utslipp, mens stabile forhold gir dårlig spredning av utslipp. Det er om sommeren og om dagen når bakken blir varmere enn luftlaget over at man oftest får de mest ustabile forholdene. Nøytrale forhold forekommer ved overskyet vær og midtels til sterk vind. Stabile forhold forekommer oftest om vinteren og om natta når bakken blir kaldere enn luftlaget over. Målingene i 2008-2009 viser at i 54 % av tiden så var atmosfæren nøytral, med relativt god vertikal spredning, mens den i 18% av tiden var lett stabil eller stabil som uttrykker relativt dårlig vertikal spredning (Berglen et al. 2010).

2.2.3 Komponenter som slippes ut fra anlegget

Prosessanleggene på Kollsnes kan behandle opp til 144,5 millioner Sm^3 tørrgass og 8 500 Sm^3 NGL/kondensat i døgnet (Miljødirektoratet 2022a). Anlegget tar imot og behandler gassen fra feltene Troll, Fram, Visund og Kvitebjørn. På prosessanlegget blir gassen tørket og komprimert. Tørrgassen føres videre via eksportørledningene ZP II A/B til ulike mottaksterminaler i Europa, mens kondensat transporteres til oljeraffineriet på Mongstad via Vestprosess rørledning (Gassco 2023, Miljødirektoratet 2022a).

Tørrgassen består hovedsakelig av metan (CH_4), mens våtgassen består av flytende etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), iso-butan og normalbutan (butaner, C_4H_{10}) (Berglen et al. 2010, Miljødirektoratet 2022a).

Energibehovet på Kollsnes dekkes hovedsakelig av elektrisk kraft fra nettet, men også varme fra fire gassfyrte varmoljeovner (A, B, NGL og KOP). Prosessanlegget har kvotepliktig CO₂-utslipp i forbindelse med energiproduksjonen (Miljødirektoratet 2022a).

- Kvotepliktig CO₂-utslipp i forbindelse med energiproduksjon der innfyrt effekt overstiger 20 MW, klimakvoteforskriften § 1-1 nummer 1.
- Kvotepliktige CO₂-utslipp fra forbrenning av brenngass, fakkeltgass, diesel og propan.
- Kvotepliktig utslipp fra fire varmoljeovner, tre fakler (HP-, LP- og VDL-fakkel), to nødgeneratorer og en brannvannpumpe. med totalt 72,5 MW innfyrt effekt.

2.2.4 Utslipp til luft

Ifølge utslippstillatelse gitt av Miljødirektoratet, har prosessanlegget ved Kollsnes grenseverdier for utslipp av komponenter til luft og vann, med krav om målinger. Anlegget har utslipp til luft av nitrogenoksider (NO_x), karbonmonoksid (CO) og svoveldioksid (SO₂) fra gassfyrte varmoljeovner, motorer og fakler. I tillegg forekommer O₂ i røykgass fra forbrenningsenhet. Lekkasje og diffuse utslipp av metan (CH₄) og NMVOC (flyktige organiske forbindelser unntatt metan) fra prosessområdet kan også forekomme (Miljødirektoratet 2021, 2022b). Ellers forventes det bidrag til PM₁₀, som er betegnelsen på partikler mindre enn 10 µm, fra fakler og piper ved prosessanlegget (Berglen et al. 2010).

Det dannes svoveldioksid (SO₂) og nitrogenoksider (NO_x) ved forbrenning. Oksidene reagerer med vanddamp i atmosfæren, og danner svovelsyre (H₂SO₄) og salpetersyre (HNO₃). Dette gjør at vannet blir surt, og bidrar til forsuring av nedbør og vassdrag. Nitrogen fungerer også som gjødsel for planter og alger, men for høye doser kan bl.a. forskyve artssammensetningen mot arter som tåler høy nitrogenbelastning. Mesteparten av NO_x slippes ut i form av NO, mens resterende slippes ut som NO₂. NO₂ er en giftig gass og det er derfor etablert strenge luftkvalitetskrav og grenseverdier for denne gassen (Miljødirektoratet 2022a).

Når sollys er til stede og nitrogenoksider (NO_x) reagerer med hydrokarboner vil det dannes ozon. Ozon er svært reaktivt og høye nivåer av nær bakken kan føre til skader på helse, vegetasjon og materiale. Målinger ved Herdlevær viser at ozonkonsentrasjonene er uavhengige av vindretningen. Prosessanlegget er derfor ikke en vesentlig bidragsyter til ozon (Berglen et al. 2010).

Metan (CH₄) kan forekomme via kaldventilering og diffuse utslipp ved Kollsnes. Gassen er fargeløs, luktfri, lett antennelig og eksplosiv hvis konsentrasjonen i luften er mellom 5 og 15 prosent. Metan er en drivhusgass, med effekt på klimaforandringene. Ekstremt høye metankonsentrasjoner er helsefarlige (Miljødirektoratet 2022b).

NMVOC er en samlebetegnelse for lett fordampbare organiske forbindelser unntatt metan. Gruppen omfatter bl.a. alkohol, aldehyd, alkan, aromatiske forbindelser, keton og halogenerte forbindelser av disse stoffene. NMVOC slippes ut i miljøet etter ufullstendig forbrenning av fossilt brensel og ved fordampning av løsemidler. Mange NMVOC-stoffer er en del av kjemiske reaksjoner som danner lavtliggende ozon (Miljødirektoratet 2021).

2.3 Flora

Området rundt prosessanlegget består av et kystlandskap dominert av kystlynghei og ellers av nakent berg og jordvannsmyrer i fosenkinger imellom kollene. Kystlyngheier er åpne kulturpåvirkede heier som er dominert av dvergbusker, hovedsakelig røsslyng (*Calluna vulgaris*), og med større eller mindre innslag av urter eller gras. Fraværet av purpurlyng (*Erica cinerea*) har trolig bakgrunn i det næringsfattige jordsmonnet, dette er ellers en vanlig art ytterst langs kysten vår (Lundberg & Hansen 1992). Kystlyngheier er en seminaturlig naturtype som er etablert gjennom lang tids bruk, der hogst, etterfulgt av skjøtsel (brenning) og husdyrbeiting har vært de viktigste påvirkningsfaktorene og en forutsetning for opprettholdelse av kystlyngheiene. Opphør av tradisjonell drift fører til gjengroing av disse lyngheiene. Tilførsel av høyt nitrogen-nedfall kan også bidra til endret tilstand og artsmangfold i lyngheiene. Dette gjelder spesielt kystlyngheier på

kalkfattig substrat som er sensitive til både eutrofiering og forsuring. Siden vegetasjonen er tilpasset liten tilgang på nitrogen (N), vil den være følsom overfor økt nitrogentilførsel. Ved økt tilførsel av nitrogen vil spesielt graminider øke, mens røsslyng, moser og lav vil gå tilbake (Aarrestad & Stabbetorp 2010). Nitrogentålegrensen for kystlynghei er satt til 1000 mg N/m²/år (10 kg N/ha/år) og er basert på Achermann and Bobbink (2003), Bobbink and Hettelingh (2011), og se Austnes et al. (2018). I tillegg er naturtypen sårbar med hensyn til fremmedartsinnslag, ulike arealbrukskategorier og slitasje, oppdyrking, nedbygging og gjengroing med skogplanter (Artsdatabanken 2018, Miljødirektoratet 2023).

De siste 50 år så har man sett store endringer og nedgang i kystlyngheiene og naturtypen er derfor blitt rødlistet med rødlistestatus EN, sterkt truet. I tillegg er naturtypen en utvalgt naturtype (Artsdatabanken 2018). Miljøovervåkingen ved Kollsnes har til hensikt å følge endringer i vegetasjon og kjemisk sammensetning i jord og røsslyng.

Her rapporteres endringer i vegetasjon, jord- og jordvannkjemi fra undersøkelser i 2008, 2013, 2018 og 2023 for fem fase vegetasjonsruter ved Kollsnes. Fastrutene i 2023 (K1-K5) tilsvarer fastrutene i 2003, 2008, 2013 og 2018 (TB1- TB5).

2.4 Overvåkingsområdet og vegetasjon

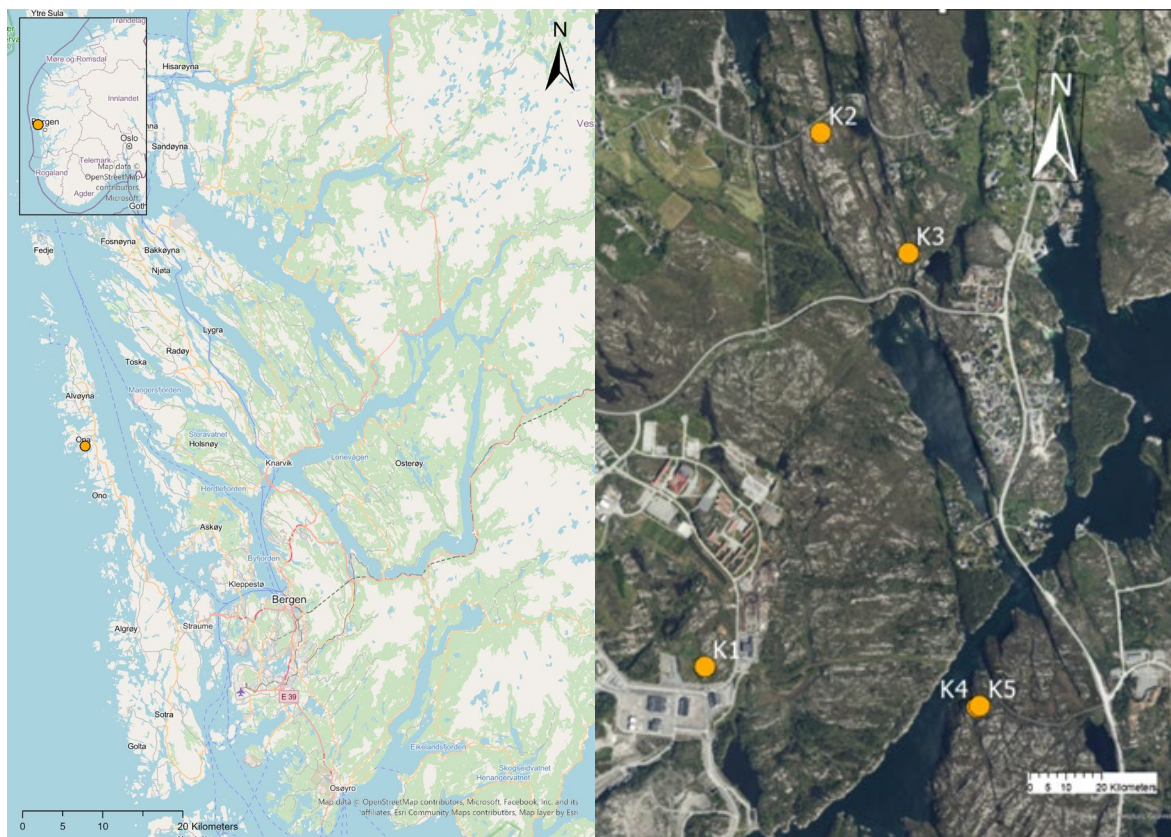
Overvåkingen ligger på Kollsnes, på den sørlige delen av øya One i Øygarden kommune i Vestland fylke (**Tabell 3** og **Figur 2**). Overvåking har blitt gjort i 1995, 1998, 2003, 2008, 2013, 2018 og 2023.

Tabell 3. Koordinater for de fem faste vegetasjonsanalysene ved Kollsnes. Fastrutene som benevnes K1-K5 i 2023, tilsvarer fastrutene TB1-TB5 i fra 1995 til 2018.

Nytt område-navn	Gammelt område-navn	UTM	Øst	Nord	Breddegrad	Lengdegrad
K1	TB1	32V	272140	672006	60,5517424	4,8436145
K2	TB2	32V	272520	6721960	60,569048	4,8489587
K3	TB3	32V	272870	6721540	60,5653609	4,8550965
K4	TB4	32V	273110	6719920	60,551022	4,8614000
K5	TB5	32V	273120	6719910	60,5510417	4,8616053

Området rundt prosessanlegget på Kollsnes er preget av et kystlandskap med kystlynghei, myr, åpen grunnlendt mark og enkelte små områder med semi-naturlig mark. Området rundt Kollsnes ble kartlagt etter Miljødirektoratets instruks i 2021 (Miljødirektoratet 2023). Kartleggingen viser at området er dominert av kalkfattige kystlyngheier (T34-C-2), klassifisert etter NiN2.0 (Bratli 2019). Enkelte steder er den kalkfattige kystlyngheia i mosaikk med svært og temmelig kalkfattige myrflater (V1-C-1) med innslag av intermediære kystlyngheier (T34-C-4). I tillegg inneholder området kalkfattig åpen grunnlendt mark og små flekker med semi-naturlig eng.

Den kartlagte kystlyngheia ved Kollsnes har lavt beitetrykk og preges av å være i brakkleggingsfase. Lyngen er forvedet og gammel, med få nye skudd og det meste av kystlyngheia er i en degenerasjonsfase.



Figur 2. Til venstre: Oversiktskart over lokalisering av overvåkningsområdet ved Kollsnes, One i Øygarden kommune i Vestland fylke. Kartgrunnlag N50 kartdata. Brukstillatelse gjennom Kartverket. Til høyre: Lokalisering av de fem fastrutene ved Kollsnes prosessanlegg; Tre ruter er lokalisert på One (K1, K2 og K3) og to er lokalisert på Blomøy, nær Osundet (K4 og K5). Ortofoto, brukstillatelse gjennom Kartverket og Geovekst/Norge Digitalt.

Lokalitet K1 ligger innenfor området til prosessanlegget på Kollsnes (**Figur 2** og **3**), på en kolle som består av naturtypene uttørkingseksponerte svært og temmelig kalkfattige berg, bergvegger og knauser (T1-C-2) og kalkfattige kystlyngheier (T34-C-2). Det vokser en god del spredte forekomster av fremmedarten sitkagran som har svært høy risiko (SE) for norsk natur ved lokaliteten. Lokaliteten har ikke vært brent på mange tiår, men sau har beitet her inne på området siden 2003 og røsslyngen er i hovedsak i moden fase.

Lokalitet K2 ligger ved siden av Røyrevatnet, litt nord for prosessanlegget ved Kollsnes (**Figur 2** og **4**). Naturtypen i analyseruten består av kalkfattige kystlyngheier (T34-C-2) og området rundt består også av uttørkingseksponerte svært og temmelig kalkfattige berg, bergvegger og knauser (T1-C-2). Kystlyngheia er for det meste åpen, men har en del einerbusker rundt omkring i lokaliteten og blir ekstensivt beita av sau. Lokaliteten har spredte forekomster av sitkagran og buskfuru som begge er fremmedarter med svært høy risiko (SE) for norsk natur. Lokaliteten ser ikke ut til å ha vært brent på flere tiår og røsslyngen er hovedsakelig i moden fase.

Lokalitet K3 ligger sør for K2 og vest for Hildalsvatnet, litt nord for prosessanlegget ved Kollsnes (**Figur 2** og **4**). Naturtypen i analyserute består av intermediære kystlyngheier (T34-C-4). Lokaliteten ser ikke ut til å ha vært brent på flere tiår og ingen tegn på beiting i det siste, røsslyngen er hovedsakelig i degenereringsfase.



Figur 3. Lokalitet K1 inne på området til anlegget ved Kollsnes. © Mari Jokerud



Figur 4. Til venstre: lokalitet K2 ved Røyrevatnet og til høyre er lokalitet K3 vest for Hildalsvatnet. © Mari Jokerud

Lokalitet K4 og **K5** ligger begge rett øst for prosessanlegget ved Kollsnes med en avstand mellom hverandre på rundt 10 meter (**Figur 2** og **5**). Naturtypen i analyserutene består av kalkfattige kystlyngheier (T34-C-2) og området rundt består også av uttørkingseksponerte svært og temmelig kalkfattige berg, bergvegger og knauser (T1-C-2). Det er en kystlynghei med moderat beitetrykk og den er mest åpen. Kystlyngheia er dominert av røsslyng i moden fase, men har òg noe lyng i byggefase og degenereringsfasen.



Figur 5. Til venstre: lokalitet K4 og til høyre ligger lokalitet K5. © Mari Jokerud

3 Materiale og metoder

Det utføres en overvåking av vegetasjonenes artssammensetning i naturtypen kystlynghei, kjemisk innhold i planter og jord og vegetasjonens grønnet (NDVI). Overvåkingsparameterne er valgt ut fordi de kan respondere på forurensningstilstanden i området. Det er lagt ut fem analyseruter og målepunkter for innsamling av jordprøver, plantevevsprøver og artsanalyser. **Figur 2** viser prosessanlegget på Kollsnes og de fem analyserutene. Alle data er tilgjengelig på: <https://hdl.handle.net/11250/3120013>.

I perioden 17-18. august 2023 ble det utført en full vegetasjonsanalyse og innsamling av jord- og planteprøver.

3.1 Analyser av vegetasjon

Totalt overvåkes fem analyseruter i kystlynghei, analyseruten er 1 m x 1 m, dekingen (projeksjonen i horisontalplanet) av hver art innen analyseruten ble angitt i prosent (**Figur 3, 4 og 5**).

Nomenklatur

Navn på lav, moser og karplanter følger Artsdatabankens navnssetting (www.artsdatabanken.no/) fra 2023. Alle vitenskapelige artsnavn er oppgitt i **Vedlegg 1**.

3.2 Plantefysiologiske målinger

Optiske målinger av grønnet (NDVI normalized difference vegetation index) er en indeks som er utviklet for optiske målinger av vegetasjonens grønnet, som representeres ved pigmentet klorofyll som brukes i fotosyntesen. Den har en skala fra -1 til +1, hvor negative verdier i all hovedsak er is og vann samt stein og sand helt uten fotosyntetiske organismer. Positive verdier indikerer tilstedeværelse av fotosyntetiske organismer, og de høyeste verdiene nær 1 oppnås gjerne i tropiske områder og i tempererte gressletter. Mengden klorofyll sier noe om helsetilstanden til planten, planter med mye klorofyll er i god helsetilstand (Zagajewski et al. 2017). Veldig god plante helse har NDVI-verdier mellom 0.7 - 1, god plante helse har verdier mellom 0.6 - 0.7, dårlig plante helse har verdier mellom 0 - 0.6 (Zagajewski et al. 2017). Vi har brukt håndholdte instrumenter for optiske målinger på nært hold. Vi benyttet et instrument av merket FieldScout CM 1000 NDVI Meter (Spectrum Technologies Inc., Illinois, USA) som har en "Point-and-shoot"-teknologi for å måle øyeblikkelig rødt (660 nm) og nær infrarødt (840 nm) lys (spektralband) som enheten bruker for å beregne NDVI (**Figur 6**). Vi målte NDVI fra omtrent 1 m høyde og hver måling gjøres uten ytterligere forberedelser og er gjennomført på et par sekunder.

For få mest mulig sammenlignbare målinger valgte vi ut vegetasjonsflater dominert av én art, nemlig røsslyng. Det er imidlertid tilnærmet umulig å finne flater med kun én art til stede. Vårt kriterium var derfor at den dominerende arten skulle dekke minst 70 % av ruta og at øvrige arter skulle ha lite bladverk.

Vi utførte NDVI-målinger av vegetasjon ved alle fem overvåkingslokalitetene. Formålet med disse målingene er å få indikasjoner på om vegetasjonen nær prosessanlegget på Kollsnes over tid viser reduksjon i fotosyntetisk aktivitet som følge av lokale utslipp av NO_x og NMVOC, som sammen danner ozon og som fører til nekrose på bladverk. Vi har benyttet samme metodikk på vegetasjon i andre overvåkingsprogrammer for å se om det er forskjeller i fotosynteseaktivitet mellom lokaliteter, da andre forurensinger kan bidra til redusert fotosyntese. Samlet gir disse målingene et godt grunnlag for å vurdere vegetasjonens helsetilstand. En stor forskjell mellom lokalitetene trenger likevel ikke være forårsaket av prosessanlegget. Utgangspunktet er først å vurdere om det er forskjeller. Hvis slike forskjeller detekteres, bør det gjøres nærmere vurderinger om disse skyldes prosessanlegget eller andre forhold.



Figur 6. Instrument for optiske målinger av innhold av klorofyll, FieldScout CM 1000 NDVI Meter t.v., og røsslyng i full blomst t.h. © Mari Jokerud

3.3 Kjemiske analyser av plantevev fra lav og moser

I 2023 ble det samlet inn tre planteprøver av røsslyng (*Calluna vulgaris*) fra hver av de fem lokalitetene, totalt 15 prøver. Tidligere overvåking samlet inn en planteprøve fra hver lokalitet. De øverste 3 cm av røsslyngen (årsskudd) og total vekt på 200 gram ble samlet inn og lagret i papirposer.



Figur 7. Innsamling av planteprøver for røsslyng. © Mari Jokerud

Plantevevsprøver til analyse av kjemisk innhold ble satt i tørkeskap ved 25 °C i 72 timer og ble deretter homogenisert ved maling gjennom en sikt med maskevidde på 1 mm. Prøvene ble så analysert ved Eurofins Agro Testing Norway AS i september 2023 for totalt innhold av mikro- og makronæringsstoffene: (B - bor, Ca - kalsium, Cu - kobber, Fe - jern, K - kalium, Mg - magnesium, Mn - mangan, Mo - molybden, N – nitrogen, S - svovel, Zn - sink) ved ICP (inductively coupled plasma emission spectroscopy). I tidligere år ble bare karbon og nitrogen målt i røsslyng.

3.4 Kjemiske analyser av jord

I 2023 ble det samlet inn tre jordprøver fra hver av de fem lokalitetene, totalt 15 prøver. Tidligere overvåking samlet inn en jordprøve fra hver lokalitet. De øverste 5 cm av jorda ble samlet inn og lagret i papirboks og plastpose. Alle jordprøver ble samlet inn rett utenfor analyserutene for vegetasjonens artssammensetning, langs en av de fire sidene, i tilsvarende vegetasjon som inne i ruta. Prøvene ble tatt med spade, og spaden ble rengjort mellom hver prøve, Nitrile-hansker ble benyttet ved innsamlingen og skiftet for hver analyserute.

Fra 2003 til 2023 ble jordprøvene hvert femte år analysert for glødetap, pH, karbon, nitrogen, kalium, kalsium, magnesium og natrium, i henhold til metoder. I 2023 ble fosfor lagt til analysene. I tillegg ble grunnlagsanalyser gjort i 1995 og 1998. Siden 2013 har alle analysene blitt utført av Eurofins Agro Testing Norway AS.

3.5 3.3 Statistisk bearbeiding

For å se om naturtypene på lokalitetene likner i artssammensetning gjorde vi en undersøkelse med en multivariat analyse (ordinasjon), som illustrerer ulikheter mellom analyserutene gjennom beregningen av forskjell i artssammensetning basert på forekomst og mengde av artene i rutene. Disse forskjellene er som regel flerdimensjonale, men kan vises grafisk gjennom en projeksjon på to dimensjoner. I denne projeksjonen vil ruter med lignende artssammensetning ligge nær hverandre og ruter med ulik artssammensetning vil ligge lengre fra hverandre. Vi brukte non-metric multidimensional scaling (NMDS) som ordinasjonsteknikk (Gotelli & Ellison 2004). Det har også blitt gjennomført en regresjon av NMDS-akseskår.

For å teste om de forskjellige jordkjemivariablene viser en trend over tid i perioden 1995-2023 samlet sett på Kollsnes, ble det brukt lineære regresjonsmodeller med "år" som numerisk forklaringsvariabel i alle modellene. For å teste hvorvidt det er en signifikant forskjell mellom 1995 og 2023 ble det brukt enveis ANOVA med år som faktor. Alle statistiske analyser ble utført med statistikkprogramvaren RStudio Version 2023.12.1 (RStudio Team 2023) og R versjon 4.3.0 (R Core Team 2023). Alle R-skript er tilgjengelig på Github, <https://github.com/marijokerud/Environmental-monitoring-vegetation/tree/d4d91872242474fb0c2738602c98d7552530b641/code>.

4 Resultat

4.1 Vegetasjon

4.1.1 Artsrikhet

Kystlyngheiene på alle lokalitetene er karakterisert av et feltsjikt dominert av røsslyng, krekling, klokkeling, heiflette, blåtopp, bjørneskjegg og tyttebær (*Calluna vulgaris*, *Empetrum nigrum*, *Erica tetralix*, *Hypnum jutlandicum*, *Molinia carulea*, *Trichophorum cespitosum* og *Vaccinium vitis-idaea*) i varierende grad mellom lokalitetene, de dominerende artene i bunnsjiktet er heiflette og furumose (*Hypnum jutlandicum* og *Pleurozium schreberi*) (**Vedlegg 1** for grunnlagsdata). Lokalitetene K3 og K2 har høyest artsrikhet med henholdsvis 19 og 17 arter i gjennomsnitt hvert analyseår, mens K4 og K5 har lavest artsrikhet med henholdsvis 13 og 12 arter i gjennomsnitt hver analyseår (**Tabell 4**). Antall arter var stabilt høyt fra 1995 til 2008 og så har det vært en reduksjon i antall arter de siste tre gjenanalysene fra 2013 til 2023. I 2013 og 2018 var det en halvering av antall karplanter mens i 2023 var en kraftig reduksjon i antall moser og lav (**Tabell 5**). Halveringen av antall karplanter var størst blant de funksjonelle gruppene urter, starr og gress (**Vedlegg 2**).

Tabell 4. Oversikt over antall arter per lokalitet for alle analyseår (1995-2023).

Lokalitet	1995	1998	2003	2008	2013	2018	2023	Gjennomsnitt
K1	16	22	15	14	15	11	15	15
K2	19	20	19	16	16	8	19	17
K3	21	20	18	21	18	15	17	19
K4	21	16	17	9	10	7	10	13
K5	17	16	14	11	6	8	10	12

Tabell 5. Oversikt over gjennomsnittlig antall arter innen moser, levermoser, lav og karplanter for alle fem analyseruter (K1-K5).

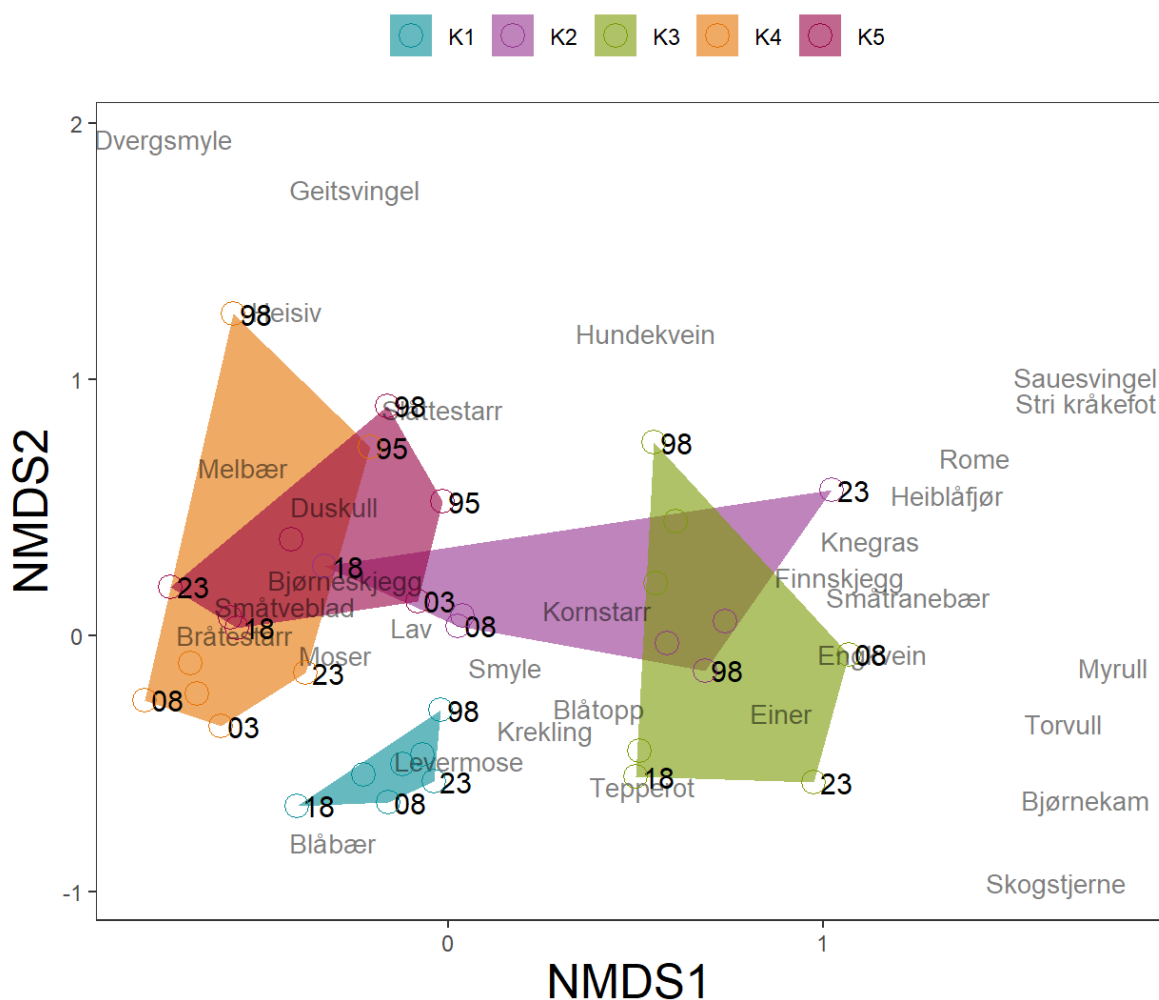
Funksjonelle grupper	1995	1998	2003	2008	2013	2018	2023
Karplanter	26	25	20	22	12	9	24
Moser	11	13	13	9	12	9	3
Lav	5	7	7	5	2	1	1
Totalt antall arter	42	45	40	36	26	19	28

4.1.2 Forskjeller i artssammensetning og endringer over tid

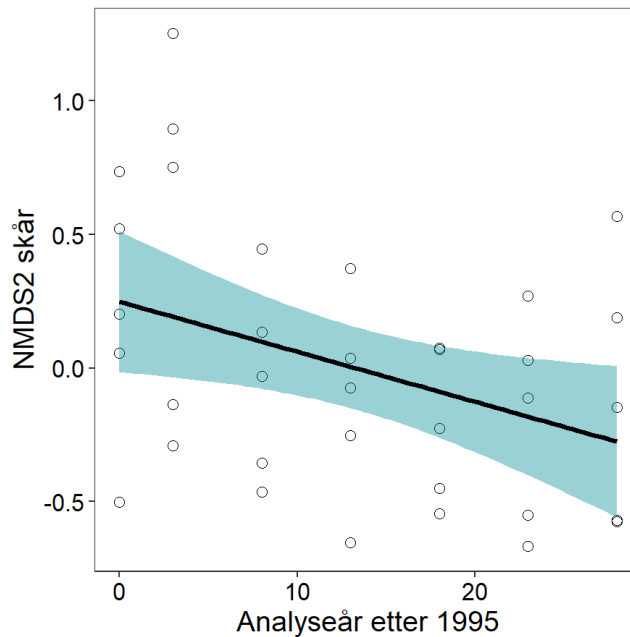
Ikke-metrisk multidimensjonal skalering (NMDS) ble brukt for å visualisere og beregne skår for hver lokalitet basert på artstilstedeværelse over tid for alle fem lokalitetene. Disse skårene kan brukes i en statistisk analyse av om artssammennene endrer seg over tid. **Figur 8** viser at de fem lokalitetene har litt ulik artssammensetning og at artssammennene fra de ulike årene grupperer seg sammen for hver lokalitet. Den første aksene (NMDS1) representerer mest sannsynlig en næringsgradient med mer næringskrevende arter (rome, heiblåfjør og blåknapp) til høyre på

aksen og lite næringskrevende arter til venstre som melbær og bråtestarr (**Figur 8 og Vedlegg 1**). Den andre aksene (NMDS2) representerer mest sannsynlig en lyngsviingsgradient fordi K4 og K5 i 1998 har en artssammensetning som er et resultat av skjøtsel i form av lyngsviing i 1996. Etter lyngsviing kommer typisk først gress og halvgras som dvergsmyle, geitsvingel og heisiv som vi finner øverst langs NMDS2-aksen. Mer fuktighetskrevende arter som blåbær, bjørnekam og skogstjerne finner vi i bunn av denne aksene (**Figur 8 og Vedlegg 1**). Vi ser at artssamfunnene (K1, K3, K4 og K5) i 1998 ligger øverst i ordinasjonsplottet, mens artssamfunnene K1, K3, K4 og K5 i 2023 ligger nederst i ordinasjonsplottet (**Figur 8**).

Regresjonsanalysen av utregnet skår fra den første NMDS aksene (NMDS1, **Vedlegg 3**) over antall år etter første analyseår viser ingen endring over tid ($r^2= 0.04$, $p= 0.55$). Regresjonsanalysen av utregnet skår fra den andre NMDS aksene (NMDS2, **Figur 8**) over antall år etter første analyseår viser en svak signifikant endring over tid ($r^2= 0.15$, $p= 0.02$, **Figur 9**) fra høye til lave verdier, og dermed fra arter som indikerer hevd til arter som indikerer gjengroingsuksesjon (jfr. **Figur 8**).



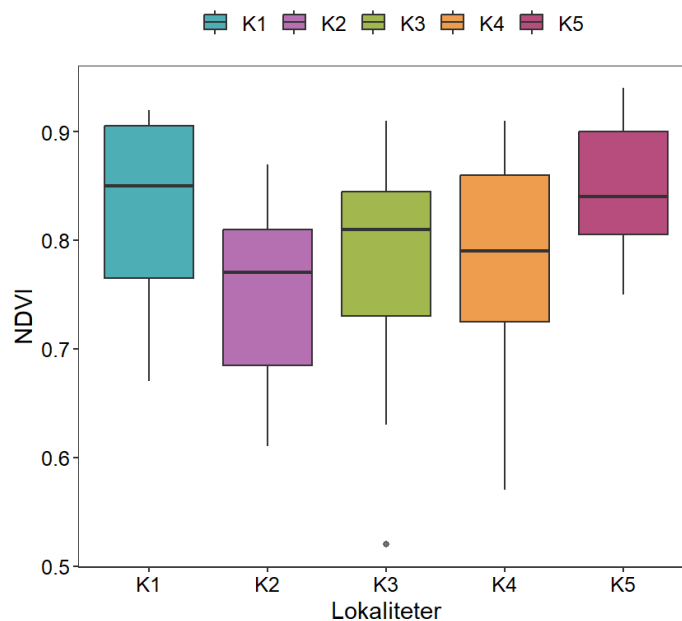
Figur 8. Ordinasjonsplott over alle analyserutene ved Kollsnes. K1 ligger inne på prosessanleggets arealer, K2 og K3 ligger nord for anlegget og K4 og K5 ligger rett øst for anlegget.



Figur 9. Lineær regresjonsanalyse av forholdet mellom artssammensetningen ved bruk av skår fra den ikke-metriske multidimensjonale skalering langs akse to (NMDS2) og tid fra 1995 til 2023. År er antall år etter 1995. Den svarte linjen viser regresjonslinjen og det blå feltet viser 95%-konfidensintervallet. Regresjonsanalysen viser en svak signifikant endring over tid ($r^2 = 0.15$, $p = 0.02$).

4.2 Grønnhet (NDVI)

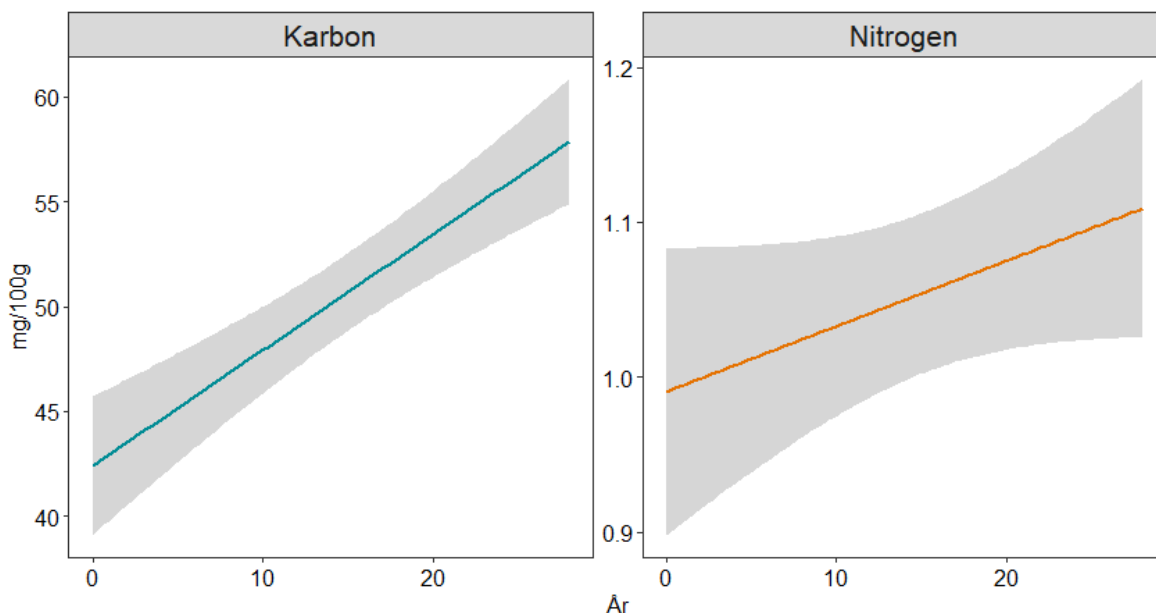
Målinger av NDVI på røsslyngdominert vegetasjon viser at mesteparten av målingene ligger mellom ca. 0.7 til 0.9. Medianen for K1, K2, K3, K4 og K5 er henholdsvis 0.85, 0.77, 0.81, 0.79 og 0.84 (**Figur 10 og Vedlegg 1** for grunnlagsdata).



Figur 10. Boksplott av NDVI-målinger for lokalitetene K1-K5. Bokserne avgrenses i nedre del av første kvartil og øvre del av tredje kvartil, de inneholder derfor halvparten av alle verdiene i datasettet. Medianen vises som en linje som deler boksen i to.

4.3 Kjemiske analyser av røsslyng

Regresjonsanalysen av mengden karbon i toppskudd på røsslyng over antall år etter første analyseår viser en sterk signifikant endring over tid ($r^2= 0.83$, $p< 0.001$) (**Figur 11** og **Vedlegg 1** for grunnlagsdata). Regresjonsanalysen av mengden nitrogen i toppskudd på røsslyng over antall år etter første analyseår viser ingen signifikant endring over tid ($r^2= 0.05$, $p= 0.1$) (**Figur 11** og **Vedlegg 1**).



Figur 11. Lineær regresjonsanalyse av forholdet mellom målinger av makronæringsstoffer og tid fra 1995 til 2023. År er antall år etter 1995. Den turkise linjen viser regresjonslinjen til karbon og den oransje linjen viser regresjonslinjen til nitrogen. Det grå feltet viser 95%-konfidensintervallet til analysen.

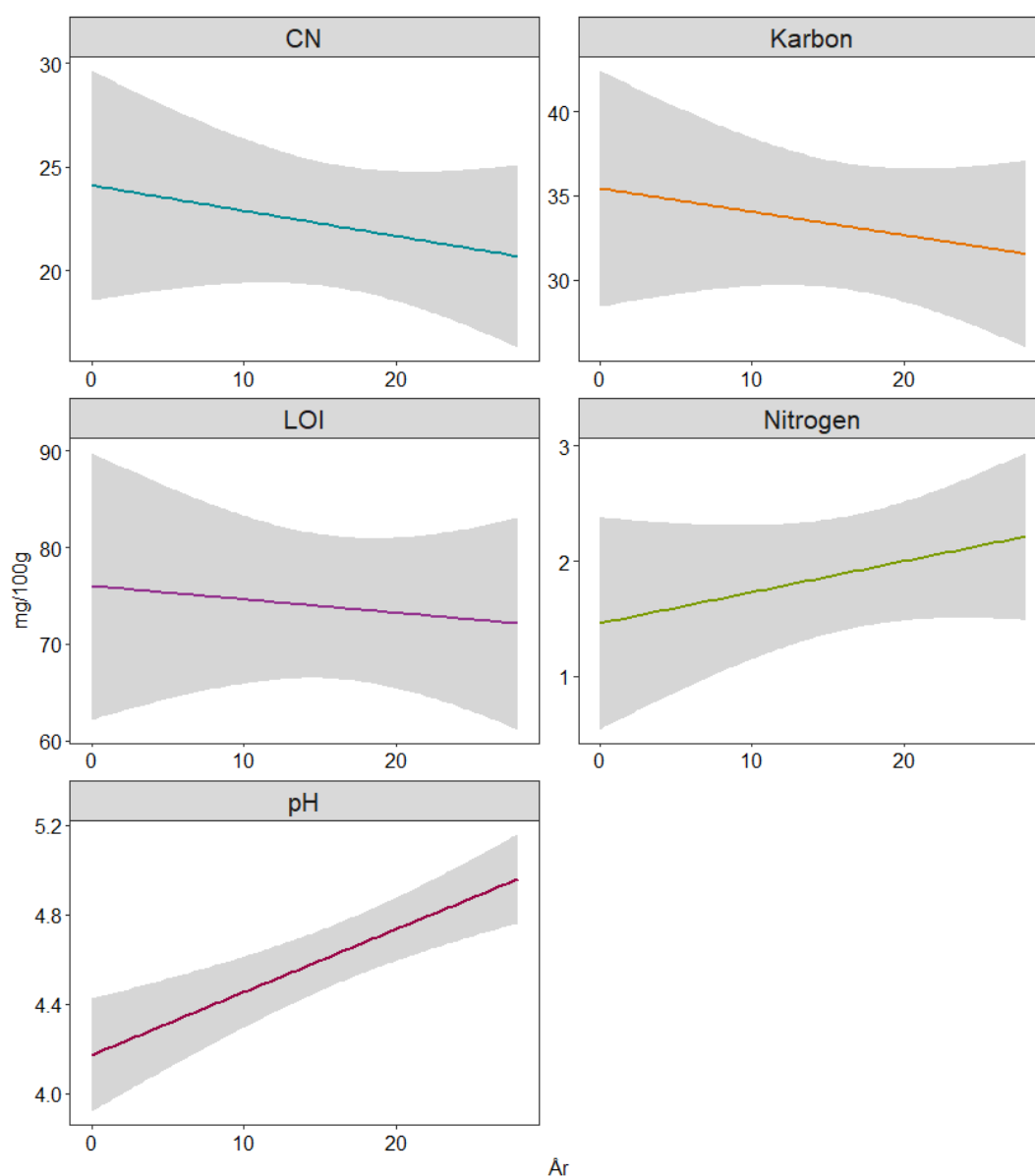
4.4 Jord

4.4.1 Glødetap, pH og nitrogenforbindelser i jord

Det har vært en signifikant økning i pH fra 1995 og frem til 2023 (**Tabell 6**, **Figur 12** og **Vedlegg 1** for grunnlagsdata). Hverken karbon, nitrogen eller karbon/nitrogenforholdet eller glødetap har endret seg signifikant over tid.

Tabell 6. Modellestimater (enveis ANOVA) for forskjeller i pH, totalt karbon (C, g/100g), totalt nitrogen (Kj-N, g/100g) og glødetap (%) i jord over tid. Skjæringspunkt er modellens utgangsverdi på år 0 av tidsserien (1995). «År» er den årlige forskjellen mellom 1995 og årene etter. Signifikante resultater for modellestimatene der $p \leq 0,05$ er uthevet, p-verdier: *** <0,001, ** <0,01, * <0,05.

Element	Skjæringspunkt	År	Determinasjonskoeffisienten R^2	p-verdi
pH	4.17	0.03	0.311	<0.001 ***
Karbon	35.4	-0.14	0.014	0.441
Nitrogen	1.46	0.03	0.030	0.253
C/N forhold	24.1	-0.12	0.017	0.390
Glødetap (LOI)	76.0	-0.14	0.004	0.694



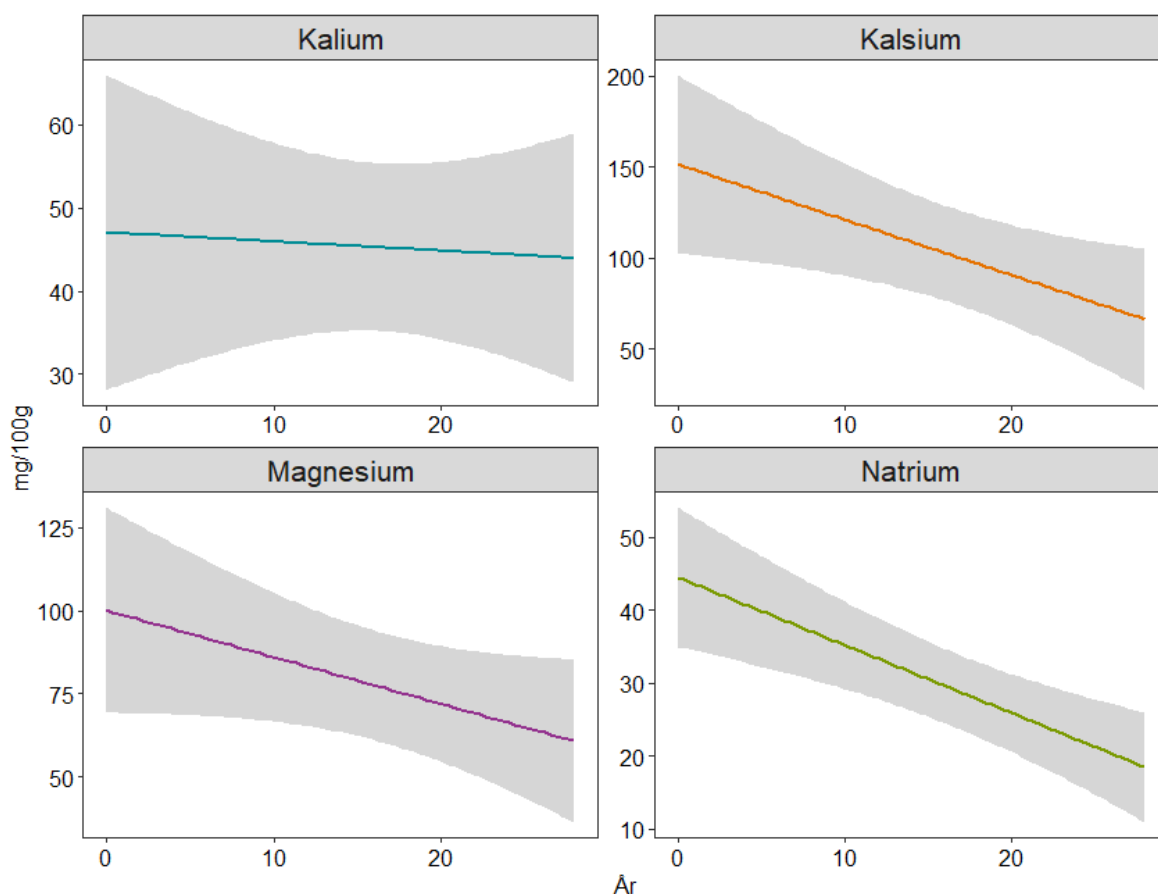
Figur 12. Regresjonsanalyse av pH, totalt karbon (C, g/100g), totalt nitrogen (Kj-N, g/100g) og glødetap (%) i jord over tid siden 1995. År er antall år etter 1995. Den tjukke linjen viser regresjonslinjen til de ulike elementene og det blå feltet viser 95 %-konfidensintervallet til analysen.

4.4.2 Makronæringsstoffer i jord

Makronæringsstoffene kalsium og natrium har blitt signifikant redusert siden 1995 (**Tabell 7, Figur 13** og **Vedlegg 1**). Magnesium nærmer seg signifikant p-verdi ($p \leq 0,05$) for reduksjon over tid mens kalium har ingen signifikant endring over tid.

Tabell 7. Modellestimater (enveis ANOVA) for forskjeller i kalium (K, mg/100g), kalsium (Ca, mg/100g), magnesium (Mg, mg/100g) og natrium (Na, mg/100g) i jord over tid. Skjæringspunkt er modellens utgangsverdi på år 0 av tidsserien (1995). «År» er den årlige forskjellen mellom 1995 og årene etter. Signifikante resultater for modellestimatene der $p \leq 0,05$ er uthevet, p-verdier: *** <0,001, ** <0,01, * <0,05.

Makronæringsstoff	Skjæringspunkt	År	Determinasjonskoeffisienten R^2	p-verdi
Kalium	47.1	-0.11	0.001	0.820
Kalsium	151.0	-3.04	0.123	0.018 *
Magnesium	100.0	-1.40	0.070	0.080
Natrium	44.5	-0.93	0.257	<0.001 ***



Figur 13. Regresjonsanalyse av kalium (K, mg/100g), kalsium (Ca, mg/100g), magnesium (Mg, mg/100g) og natrium (Na, mg/100g) i jord over tid siden 1995. År er antall år etter 1995. Den tjukke linjen viser regresjonslinjen til de ulike elementene og det blå feltet viser 95 %-konfidensintervallet til analysen.

5 Diskusjon

5.1 Vegetasjon

Kystlyngheiene rundt anlegget på Kollsnes deler mange av de samme artene, men de har litt ulik artssammensetning og dette gjenspeiles i **Figur 7**. Langs den første aksene (NMDS1) i **Figur 7** ligger lokalitetene K2 og K3 til høyre, artene og artssammensetningen i K2 og K3 har flere arter som foretrekker noe mer næring i jorda enn lokalitetene som ligger til venstre som K1, K4 og K5. Disse tre lokalitetene har lavest artsdiversitet med henholdsvis 15, 13 og 12 arter i gjennomsnitt, de er alle lokaliserte på toppen av en kolle og de har høyt gjennomsnittlig glødetap henholdsvis 82 %, 86 % og 96 % det vil si høyt innhold av organisk materiale og dette klassifiseres som organisk jord også kalt humusjord. K1, K4, og K5 har en gjennomsnittlig pH på henholdsvis 4.4, 4.4 og 4.6, det er de laveste verdiene av de fem lokalitetene. K2 er plassert i et hellende terreng med mer sand i jorda, K2 har et gjennomsnittlig glødetap på 33 og klassifiseres som mineralblandet moldjord (**Vedlegg 4**). Mens K3 som ligger i et hellende terreng forsenkning har et glødetap på 65 % og klassifiseres som organisk jord. Artene og artssammensetningen i K2 og K3 har flere arter som foretrekker noe mer næring i jorda og det gjenspeiles i pH på 4.7 og 4.9. Disse to lokalitetene har høyest artsdiversitet med henholdsvis 17 og 19 arter i gjennomsnitt. Begge to lokalitetene er i et hellende terreng de vil derfor få tilført mer næring via sigevann enn lokalitetene som er lokalisert på toppen av en kolle og derfor får tilført mesteparten av næringen fra nedbør. K2 har en stor endring i artssammensetningen fra 2018 til 2023 i tillegg har lokaliteten halvert antall registrerte arter for 2008 (8 arter) sammenlignet med årene før og etter. Det er vanskelig å si hva som er grunnen til dette, men det er flere arter innen gress, halvgress og urter som ikke er gjenfunnet i 2013 og 2018. De to førstnevnte artsgruppene kan være vanskelig å identifisere i felt.

Når det gjelder den andre aksene i ordinasjonsplottet (NMDS2) i **Figur 7**, ser vi at artssamfunnene fra 1998 ligger høyest oppe langs gradienten for K3, K4 og K5. De to sistnevnte ble skjøttet med lyngsviing i 1996 og hadde da en artssammensetning og utseende som er typisk for pionerfasen (Wypianska & Skogen 2004). I bunn av andre aksene og ofte litt til høyre innenfor sin lokalitet finner vi ofte artssamfunn fra gjentaksårene 2018 og 2023 (K1-18, K1-23, K3-18, K3-23, K4-23, K5-13 og K5-23). Dette tyder på at artssamfunnene har endret seg i samme retning de siste 10 årene for K1, K3, K4 og K5. I 2023 representerer alle lokalitetene kystlyngheier i moden fase, bortsett fra K3 som er i degenereringsfase. K2 og K3 har representert kystlyngheier i moden fase siden 2008 (Hobæk et al. 2009). K2 har en nærmest motsatt utvikling sammenliknet med de andre lokalitetene, artssamfunnet fra analyseåret 1998 ligger i bunnen langs andre aksene, mens artssamfunnet fra analyseåret 2023 ligger øverst. Det er ellers liten spredning blant lokalitetene langs gradienten for 2023. Artssamfunnene er stabile når det gjelder antall karplanter registrert gjennom overvåkingsperioden. Den svake signifikante endringen over tid langs aksene NMDS 2 skyldes mest sannsynlig opphør av lyngbrenning og en utvikling mot degenereringsfase i alle kystlyngheilokalitetene.

Det er ingen indikasjon på at en eventuell forurensing fra anlegget på Kollsnes skal ha påvirket vegetasjonens artssammensetning. Det er redusert skjøtsel av alle kystlyngheiene og det vises med en svak påvirkning på artssamfunnene. Det hadde vært lettere å vite om endringene skyldes anlegget om det hadde vært en upåvirket og mulig påvirket lokalitet fordi resultatene da kan sammenlignes.

5.2 NDVI

Resultatene fra overvåkingsprogrammets første runde med plantefysiologiske målinger av vegetasjon (NDVI) viser gjennomsnittsmålinger på over 0.7 og det viser at vegetasjonen har veldig god plante-helse (<0.7) (Zagajewski et al. 2017). Noen enkeltmålinger regnes som god plante-helse (0.6 – 0.7) men samlet sett er plante-helsen til røsslyngen i kystlyngheia god.

5.3 Røsslyng

Makronæringsstoffene karbon og nitrogen er de eneste som tidligere har blitt overvåket ved Kollsnes. Mengden karbon i toppskuddene av røsslyng har økt signifikant siden målingen ble startet i 1995. Dette skyldes mest sannsynlig at biomassen (karbon) øker med kystlyngheias utviklingsfaser, jo eldre røsslyngen blir jo mer biomasse akkumuleres (Haugum et al. 2021). Dette er en naturlig utvikling, siden kystlyngheiene i området i dag ikke skjøttes.

Det er ingen indikasjon på at en eventuell forurensing fra anlegget på Kollsnes skal ha påvirket resultatene fra plantevevsprøvene. Det hadde vært lettere å vite om endringene skyldes anlegget om det hadde vært en upåvirket og mulig påvirket lokalitet fordi da kan resultatene sammenlignes.

5.4 Jord

I løpet av overvåkingsperioden viser pH i jorda en signifikant økning, men er fortsatt lav (~5.2), noe som er typisk for organisk jord. Mangel på referanse fra upåvirkede områder gjør det imidlertid vanskelig å vurdere årsaken til endringene. Økningen i jordas pH kan være naturlig, med en lokal utvikling, eller forårsaket direkte (kjemisk påvirkning på jord) eller indirekte (endringer i plantesamfunn og funksjon) på grunn av prosessanlegget. Forhøyede atmosfæriske CO₂-konsentrasjoner, som forekommer ved prosessanlegget ved Kollsnes, kan i prinsippet både redusere (Moonis et al. 2017, Patil et al. 2010) og øke (Oh et al. 2007) jordas pH. Redusert pH er mest rapportert og kan direkte vise til at CO₂ løses opp i jordvann og danner karbonsyrer (H₂CO₃) som ved dissosiasjon (der molekyler spaltes i atomer) frigjør protoner og dermed reduserer pH-verdien (Oh & Richter Jr 2004). Mekanismer bak økt pH på grunn av CO₂-eksponering er mindre kjent, men er antagelig knyttet til økt alkalitet på grunn av H₂CO₃-utløst mineralforvitring (Oh et al. 2007), samt forskjeller i responsen mellom jordtyper (f.eks. organisk vs. mineraljord). Kystlyngheiene på Kollsnes har i tidligere tider vært brent. Slike kontrollerte branner har vist seg å øke jordas pH-verdi betraktelig (Verma & Jayakumar 2012). Jord påvirkes av tidligere branner, og det høye askeinnholdet i jorda kan buffere effekten av forhøyede atmosfæriske CO₂-konsentrasjoner på jordas pH. Jordprøvedybden (5 cm) på Kollsnes er også svært grunt sammenlignet med de refererte studiene (jordprofiler ≥90 cm), og reflekterer derfor sannsynligvis rhizosfæren, dvs. interaksjonene mellom plante og jord mer enn den direkte jordresponsen.

Resultatene fra jordprøvene på Kollsnes indikerer også en utarming av kationer (signifikant reduksjon i mengden av både Ca²⁺ og Na⁺) som i tillegg til forsuring er en kjent konsekvens av jordeksponering for forhøyede CO₂-konsentrasjoner (Cheng et al. 2010, Ferdush et al. 2023). Kationutarming i forhøyede CO₂-konsentrasjoner fører til abiotisk forvitring av karbonsyre og mobilisering av mineraler (Beaulieu et al. 2010, Hartmann et al. 2013, Kuzyakov et al. 2019). Forhøyet CO₂ har også vist seg å akselerere mineralforvitring av planter og mikrober, som kan være 2-8 ganger i forhold til abiotisk prosess (Song et al. 2012). 200 ppmv økning av atmosfærisk CO₂-konsentrasjon kan mer enn doble karbonsyreforvitningsprosessene (Oh et al. 2007). Ved lav pH-verdi (≤5,5) som ved Kollsnes, vil oppløsning av CO₂ karbonsyrer og utfelling av karbonater (karbonater og bikarbonater) være ubetydelig. På lang sikt kan tap av basekationer som er mikronæringsstoffer (for eksempel Ca²⁺) føre til endringer i primærproduksjonen. Dette vil igjen kunne gjenspeiles i karbonbalansen i det utsatte økosystemet. På grunn av de grunne jordprøvene som er tatt ved Kollsnes, vil en estimering av utlekket basekation fra økosystemet være umulig. Dette fordi undergrunnsforholdene (under rhizosfæren) er ukjente. Mengden natrium (Na⁺) i jorda har blitt redusert over tid, men natrium er ikke viktig for C3-planter verken for vekst eller reproduksjon (Maathuis 2014). Mengden kalsium (Ca²⁺) i jorda har over tid blitt signifikant mindre, vi har ikke oppdaget visuelt visne blad på plantene i felt, NDVI målingene var også gode.

Ved kalsiummangel blir unge blad visne, nekrotiske og misformete. Kalsium er et essensielt element som trengs for vekst og utvikling av planter under både ikke-stressede og stressende forhold (Thor 2019, White & Broadley 2003).

Prosessanlegget kan ha påvirket jordkjemien i Kollsnes, spesielt gitt at det er betydelige endringer i både pH og basekationkonsentrasjoner. På grunn av databegrensninger, dvs. mangel på referanseområde samt grunt prøvetakingsregime, er det nødvendig med ytterligere undersøkelser før konklusjoner trekkes.

6 Anbefaling for videre overvåking

Overvåkingsprogrammet ved anlegget ved Kollsnes har et klart forbedringspotensialet når det gjelder studiedesign. Slik programmet er satt opp i dag er det ingen klar referanselokalitet som er uavhengig av utslippene ved Kollsnes, mens det samtidig pågår endringsprosesser i vegetasjonen relatert til opphør av tradisjonell hevd. En referanselokalitet vil plukke opp endringer i vegetasjon og jord i området uten at påvirkningen kommer fra anlegget, mens en lokalitet som ligger i influensområdet til anlegget på Kollsnes vil bli påvirket av generelle endringer i området samt den mulige påvirkning som anlegget kan ha på vegetasjon og jord. Lokalitetene K4 og K5 ligger litt for nært anlegget til å være gode referanselokaliteter.

Antall ruter for analyse av vegetasjon og jordkjemi er altfor få med tanke på statistisk robusthet og evne til å mer sikkert oppdage mulige endringer over tid. Ideelt sett burde det minimum ha vært fem analyseruter ved hver av de fem lokalitetene. Derfor kommer det en anbefaling av videre overvåking av naturen rundt anlegget.

6.1 Nytt overvåkingsdesign Kollsnes

Vi foreslår å utvide overvåkingsprogrammet slik at det ligner på programmet for LNG-anlegget på Melkøya utenfor Hammerfest (Jokerud et al. 2018) ved at det opprettes to lokaliteter i tillegg til dagens lokaliteter, en upåvirket og en mulig påvirket lokalitet. Siden den dominerende vindretningen ved Herdlevær målestasjon er fra sør-sørøst og sør så bør den upåvirkte lokaliteten ligge sør-sørøst eller sør for anlegget ved Kollsnes, mens den påvirkte lokaliteten bør ligge i motsatt ende, nord eller nord-nordvest for anlegget. Hver lokalitet bør inneholde to analysefelt med fem analyseruter innen hvert felt, til sammen 20 analyseruter. De to analysefeltene bør legges i næringsfattig vegetasjon fordi næringsfattig vegetasjon er mest sårbar for luftforurensing og økt næringstilgang. Derfor er et analysefelt i næringsfattig kystlynghei og ett på næringsfattig myr å anbefale. Ved å legge til myr som naturtype, er det en mindre påvirkningsfaktor å ta hensyn til over tid, siden myrene i dette området ikke skjøttes med slått. Det utvidede overvåkingsprogrammet bør ta i bruk de samme parameterne som allerede registreres i dagens overvåkingsprogram. Vegetasjon i kystlynghei bør registreres i 1 x 1 meter analyseruter, mens størrelsen bør være 0.5 x 0.5 meter analyseruter for myr, fordi det er mindre variasjon i denne naturtypen. Jordprøver bør tas ved hver eneste analyserute, slik at det blir totalt 20 jordprøver. Eksisterende lokaliteter bør videreføres i den nye planen fordi det er viktig å beholde kontinuiteten fra oppstarten i 1995. Grunnlagsundersøkelsen for de nye overvåkingslokalitetene bør gjøres i 2024 slik at de ligger nærmest mulig det originale overvåkingsprogrammet og de burde følge det femårige intervallet.

7 Referanser

- Achermann, B. & Bobbink, R. 2003. Empirical Critical Loads for Nitrogen: Expert Workshop, Berne, 11-13 Nov. 2002: Proceedings. Bern. Proceedings
- Artsdatabanken. 2018. Norsk rødliste for naturtyper 2018. <https://www.artsdatabanken.no/rodlisterfornaturtyper> Besøkt.
- Artsdatabanken. 2019. Kystlyngheias utviklingsfaser. Artsdatabanken, Trondheim. https://www.artsdatabanken.no/Pages/235210/Kystlyngheias_utviklingsfaser. Besøkt 14.12.2023.
- Austnes, K., Lund, E., Sample, J.E., Aarrestad, P.A., Bakkestuen, V. & Aas, W. 2018. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012–2016 NIVA rapport M966-2018. Norsk institutt for vannforskning
- Beaulieu, E., Goddérès, Y., Labat, D., Roelandt, C., Oliva, P. & Guerrero, B. 2010. Impact of atmospheric CO₂ levels on continental silicate weathering. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11(7).
- Berglen, T.F., Dauge, F.R., Andresen, E., Arnesen, K., Bäcklund, A., Bjerke, A., Hansen, T., Kalvenes, Ø., Manø, S., Schmidbauer, N., Tønnesen, D.A., Uggerud, H.T. & Vadset, M. 2010. Kollsnes Prosessanlegg i Øygarden. Måleprogram luft- og nedbørkvalitet 2008-2009. NILU
- Bobbink, R. & Hettelingh, J.-P. 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships: Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. Noordwijkerhout, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Bratli, H., Halvorsen, R., Bryn, A., Arnesen, G., Bendiksen, E., Jordal, J.B., Svalheim, E.J., Vandvik, V., Velle, L.G., Øien, D.-I & Aarrestad, P.A. 2019. Beskrivelse av kartleggingsenheter i målestokk 1:5000 etter NiN (2.2.0). Utgave 1, kartleggingsveileder nr 4. Artsdatabanken, Trondheim; <http://www.artsdatabanken.no>.
- Cheng, L., Zhu, J., Chen, G., Zheng, X., Oh, N.H., Ruffy, T., Richter, D.d. & Hu, S. 2010. Atmospheric CO₂ enrichment facilitates cation release from soil. *Ecology Letters* 13(3): 284-291.
- Equinor ASA. 2023. Kollsnes prosessanlegg. <https://www.equinor.com/no/energi/landanlegg>. Besøkt 13.12.2023.
- Ferdush, J., Paul, V., Varco, J., Jones, K. & Sasidharan, S.M. 2023. Consequences of elevated CO₂ on soil acidification, cation depletion, and inorganic carbon: A column-based experimental investigation. *Soil and Tillage Research* 234: 105839.
- Gassco. 2023. Kollsnes. Gassco. <https://gassco.eu/prosessanlegg/kollsnes/>. Besøkt 14.01.2023.
- Gotelli, N.J. & Ellison, A.M. 2004. A primer of ecological statistics. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Mass.
- Hartmann, J., West, A.J., Renforth, P., Köhler, P., De La Rocha, C.L., Wolf-Gladrow, D.A., Dürr, H.H. & Scheffran, J. 2013. Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification. *Reviews of Geophysics* 51(2): 113-149.

- Haugum, S.V., Thorvaldsen, P., Vandvik, V. & Velle, L.G. 2021. Coastal heathland vegetation is surprisingly resistant to experimental drought across successional stages and latitude. *Oikos* 130(11): 2015-2027. doi:10.1111/oik.08098
- Hobæk, A., Mjelde, M., Håland, A., Stellberg, J. & Hult, B. 2009. Kollsnes prosessanlegg. Oppfølgende miljøundersøkelser 2008. Ferskvann og terrestrisk botanikk. NIVA 5868-2009. Norsk institutt for vannforskning
- Håland, A. 2014. Kollsnes prosessanlegg. Oppfølgende miljøundersøkelser 2013. Terrestrisk botanikk. NNI - Rapport nr. 390 1894-7948 978-82-577-7064-8. Norsk Natur Informasjon
- Håland, A. 2018. Kollsnes prosessanlegg. Oppfølgende miljøundersøkelser 2018. Terrestrisk botanikk. NNI - Rapport nr. 521 1894-7948 978-82-577-7064-8. NNI Resources AS
- Jokerud, M., Bargmann, T., Halse, A.K., Uggerud, H.T. & Aarrestad, P.A. 2018. Equinors overvåkingsprogram for Snøhvit. Overvåking av vegetasjon og jord – reanalyser i 2018. NINA Rapport 1604. Norsk institutt for naturforskning
- Knudsen, S., Traaen, T. & Aarrestad, P.A. 2002. Ilandføringsterminalen for Ormen Lange. Konsekvenser av utslipp til luft. NILU OR 47. Norsk institutt for luftforskning
- Kuzyakov, Y., Horwath, W.R., Dorodnikov, M. & Blagodatskaya, E. 2019. Review and synthesis of the effects of elevated atmospheric CO₂ on soil processes: No changes in pools, but increased fluxes and accelerated cycles. *Soil Biology and Biochemistry* 128: 66-78.
- Lundberg, A. & Hansen, K.F. 1992. Fra lynchhei til gassterminal : flora og vegetasjon på Kollsnes i Øygarden før Troll-utbyggingen. Institutt for geografi - NHH og UIB, Bergen.
- Miljødirektoratet. 2021. Flyktige organiske forbindelser uten metan (NMVOC). Miljødirektoratet, Trondheim.
<https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Metan/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=55&SectorID=5>. Besøkt 14.02.2024.
- Miljødirektoratet. 2022a. Gassco AS Kollsnes prosessanlegg. Miljødirektoratet, Trondheim.
<https://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=6426>. Besøkt 14.02.2024.
- Miljødirektoratet. 2022b. Metan (CH₄). Miljødirektoratet, Trondheim.
<https://www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Metan/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=55&SectorID=5>. Besøkt 14.02.2024.
- Miljødirektoratet. 2023. Kartleggingsinstruks 2023: Kartlegging av terrestriske naturtyper etter NiN2. M-2209. Miljødirektoratet
- Moen, A. 1998. Nasjonalatlas for Norge: Vegetasjon. Statens kartverk, Hønefoss.
- Moonis, M., He, W., Kim, Y. & Yoo, G. 2017. Effect of potential CO₂ leakage from carbon capture and storage sites on soil and leachate chemistry. *KSCE Journal of Civil Engineering* 21: 1640-1647.
- Maathuis, F.J. 2014. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of experimental botany* 65(3): 849-858.
- Oh, N.H. & Richter Jr, D.D. 2004. Soil acidification induced by elevated atmospheric CO₂. *Global Change Biology* 10(11): 1936-1946.

- Oh, N.H., Hofmockel, M., Lavine, M.L. & Richter, D.D. 2007. Did elevated atmospheric CO₂ alter soil mineral weathering?: an analysis of 5-year soil water chemistry data at Duke FACE study. *Global Change Biology* 13(12): 2626-2641.
- Patil, R.H., Colls, J.J. & Steven, M.D. 2010. Effects of CO₂ gas as leaks from geological storage sites on agro-ecosystems. *Energy* 35(12): 4587-4591.
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reece, J.B. & Campbell, N.A. 2011. *Campbell biology*. 9th. utg. Pearson Benjamin Cummings, San Francisco.
- RStudio Team. 2023. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- Skogen, A. & Hansen, K.F. 1999. Oppfølgende miljøundersøkelse ved Kollsnes 1998 : terrestrisk botanikk. Rapport (Rogalandsforskning : trykt utg.) 8272209705. Rogalandsforskning
- Song, Z., Wang, H., Strong, P.J., Li, Z. & Jiang, P. 2012. Plant impact on the coupled terrestrial biogeochemical cycles of silicon and carbon: implications for biogeochemical carbon sequestration. *Earth-Science Reviews* 115(4): 319-331.
- Thor, K. 2019. Calcium—nutrient and messenger. *Frontiers in plant science* 10: 440.
- Verma, S. & Jayakumar, S. 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences* 2(3): 168.
- White, P.J. & Broadley, M.R. 2003. Calcium in plants. *Ann Bot* 92(4): 487-511. doi:10.1093/aob/mcg164
- Wypianska, A. & Skogen, A. 2004. Kollsnes Gassanlegg. Oppfølgende miljøundersøkelser 2003. Rapport 610168-1. Multiconsult
- Zagajewski, B., Tømmervik, H., Bjerke, J.W., Raczko, E., Bochenek, Z., Klos, A., Jarocińska, A., Lavender, S. & Ziolkowski, D. 2017. Intraspecific Differences in Spectral Reflectance Curves as Indicators of Reduced Vitality in High-Arctic Plants. *Remote Sensing* 9(12): 1289.
- Aarnes, H. 2022. Mineralnæring. Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo. <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/plfys/mineral/index.html>. Besøkt 29.01.2024.
- Aarrestad, P.A. & Stabbetorp, O.E. 2010. Bruk av bioindikatorer til overvåking av effekter av atmosfærisk nitrogen i naturtyper med lav nitrogentålegrense. NINA Rapport 567.
- Aas, W., Hjellbrekke, A., Hole, L.R. & Tørseth, K. 2008. Deposition of major inorganic compounds in Norway 2002-2006. *Naturens tålegrense rapport nr 125*. Norsk institutt for luftforskning. <http://www.klif.no/publikasjoner/overvaking/talegrenser/talegrenser125.pdf>
- Aas, W., Hjellbrekke, A.-G., Fagerli, H. & Benedictow, A. 2017. Deposition of major inorganic compounds in Norway 2012-2016 8242529159. NILU – Norwegian Institute for Air Research

8 Vedlegg

8.1 Vedlegg 1. Oversikt over alle data fra 1995 til 2023

Oversikt over alle data samlet inn fra 1995 til 2023 for arter, plantekjemi, jordkjemi og plantefysiologiske målinger (NDVI). Vedlegger ligger på <https://hdl.handle.net/11250/3120013>.

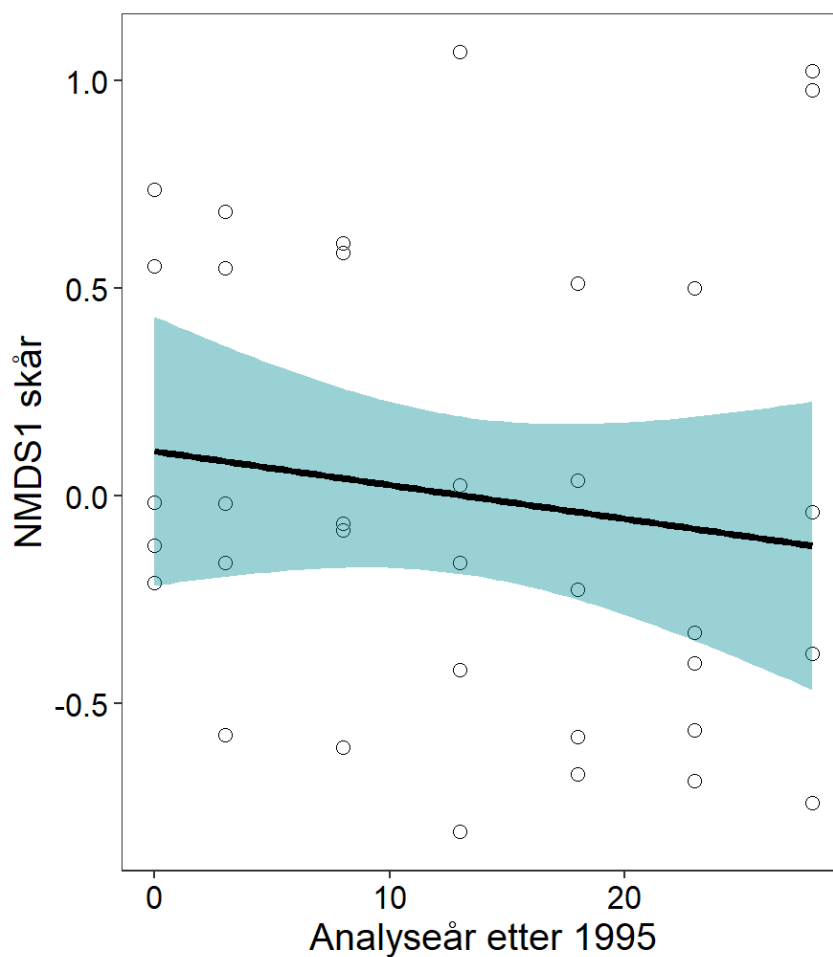
8.2 Vedlegg 2. Oversikt over antall arter innen funksjonelle grupper

Oversikt over gjennomsnittlig antall arter innen følgende funksjonelle grupper: trær, bregner, lyng, urter, starr, gress, moser, levermoser og lav for alle fem analyseruter (K1-K5).

Funksjonelle grupper	1995	1998	2003	2008	2013	2018	2023
Trær							1
Busker	1	1					
Bregner				1			2
Lyng	7	6	6	6	5	5	6
Urter	3	4	3	3	1	1	6
Halvgras	8	7	6	8	3	2	6
Gress	7	7	5	4	3	1	3
Moser	11	11	11	9	11	8	2
Levermoser		2	2		1	1	1
Lav	5	7	7	5	2	1	1

8.3 Vedlegg 3. Regresjonsanalyse av artssammensetningen

Regresjonsanalyse av artssammensetningen ved bruk av skår fra den ikke-metriske multidimensjonal skalering langs akse to over år fra 1995 til 2023. Den svarte linjen viser regresjonslinjen og det blå feltet viser 95%-konfidensintervallet.



8.4 Vedlegg 4. Oversikt over kjemiske analyser av jord

Rådata fra Eurofins.

ANALYSERAPPORT

AR-23-NF-006232-01



Eurofins Agro Testing Norway AS

F. reg. 913 54 7 8 53

Møllebakken 40

NO-1538 Moss

www.eurofins.no

Tlf: +47 92 23 99 99

iord@eurofins.no

Norsk institutt for naturforskning
Høgskoleringen 9
7034 Trondheim
Attn: Mari Jokerud

Oppdragsnummer	EUNOMO4-00067544	Kommunenr		Prøvemottak	25.08.2023	Side 1(2)
Kundenummer	NF0023660	Gårdsnr		Analyserapport klar	02.10.2023	
Prøvetype	Jordprøve	Bruksnr		Rapportkommentar	Som avtalt, ikke bekrefte resultatet for TOC prøve S05, S06.	

Merking	Skifte	Volum- vekt	Jord- art	Leir- klasse	Mold	Mold- klasse	pH	* P-AL	* P- klasse	* K-AL	* K- klasse	* Mg-AL	* Ca-AL	* Na-AL	Gløde- tap	TOC	Kjel - dahl-N	C/N	Tørr- stoff
		kg/l lufttørrket			%TS			mg/100g lufttørrket		mg/100g lufttørrket		mg/100g lufttørrket	mg/100g lufttørrket	mg/100g lufttørrket	mg/100g lufttørrket	%TS	%TS	%TS	
S01	K1	0.21	14	1	78.1	6	4.5	2	A	10	2	19	22	7	78.1	39	1.5	26	24.7
S02	K1	0.29	14	1	81.2	6	4.9	2	A	10	2	22	24	10	81.2	32	2.2	15	20.3
S03	K1	0.11	14	1	85.6	6	4.4	1	A	7	2	10	<10	4	85.6	35	1.7	21	26.6
S04	K2	0.52	13	1	38.6	5	4.6	2	A	8	2	11	10	7	38.6	15	1.0	15	45.9
S05	K2	0.86	2	1	18.6	4	4.8	2	A	10	2	8	12	6	18.6	15	0.29	52	63.1
S06	K2	0.10	14	1	43.0	6	4.6	<1	A	7	2	3	<10	2	43.0	5.5	0.26	21	50.4
S07	K3	0.45	14	1	40.8	6	6.1	1	A	14	2	34	120	11	40.8	34	0.98	35	32.6
S08	K3	0.31	14	1	59.4	6	5.6	1	A	11	2	22	75	11	59.4	11	1.6	7	14.1
S09	K3	0.01	14	1	95.6	6	4.5	<1	A	2	1	<2	<10	<2	95.6	34	1.7	20	9.5
S10	K4	0.09	14	1	83.3	6	4.6	1	A	5	1	7	<10	3	83.3	31	1.4	22	29.9
S11	K4	0.06	14	1	93.8	6	4.4	1	A	4	1	7	<10	2	93.8	32	1.9	17	22.2
S12	K4	0.97	5	2	14.8	4	4.7	3	A	9	2	12	14	6	15.8	6.9	1.1	6	35.1
S13	K5	0.01	14	1	96.0	6	4.5	<1	A	<1	1	<2	<10	<2	96.0	39	0.99	39	16.6
S14	K5	0.13	14	1	95.3	6	4.5	1	A	5	1	23	19	8	95.3	40	1.7	24	18.8
S15	K5	0.01	14	1	95.4	6	4.6	<1	A	<1	1	<2	<10	<2	95.4	42	1.6	26	18.2

Jordarter	Leirklasser	Moldklasser	Næringsinnhold	
1 Grovsand	1 < 5%	1 Moldfattig 0 - 2,9%		
2 Mellomsand	2 5 - 10%	2 Moldholdig 3 - 4,4%	Lavt	A 0 - 4
3 Finsand	3 10 - 25%	3 Moldholdig 4,5 - 12,4%	Middels	B 5 - 7
4 Siltig grovsand	4 25 - 40%	4 Moldholdig 12,5 - 20,4%	Moderat høyt	C1 8 - 10
5 Siltig mellomsand	5 > 40%	5 Mineralbl.mold 20,5 - 40,4%	Høyt	C2 11 - 14
6 Siltig finsand		6 Organisk > 40,4%	Meget høyt	D >14
7 Sandig silt				

* Ved volumvekt over 1.00 blir benevnningen mg/100g. Ved volumvekt mindre enn 1.00 blir benevnningen mg/100ml. For mikronæringsstoffer er benevnningen alltid mg/kg

Oppdragsnummer	EUNOMO4-00067544	Kommunenr	Prøvemottak	25.08.2023	Side 2(2)
Kundenummer	NF0023660	Gårdsnr	Analyserapport klar	02.10.2023	
Prøvetype	Jordprøve	Bruksnr	Rapportkommentar	Som avtalt, ikke bekrefte resultatet for TOC prøve S05, S06.	

Merking

 Kommentar

Moss 02/10/2023

Martin Opsanger

Martin Opsanger

Kundeveileder/ Salgsansvarlig Norge

Jordarter	Leirklasser	Moldklasser	Næringsinnhold		*Ved volumvekt over 1.00 blir benevningen mg/100g. Ved volumvekt mindre enn 1.00 blir benevningen mg/100ml. For mikronæringsstoffer er benevningen alltid mg/kg
1 Grovsand 2 Mellomsand 3 Finsand 4 Siltig grovsand 5 Siltig mellomsand 6 Siltig finsand 7 Sandig silt	8 Silt 9 Lettleire 10 Siltig lettleire 11 Mellomleire 12 Stiv leire 13 Mineralblandet moldjord 14 Organisk jord	1 < 5% 2 5 - 10% 3 10 - 25% 4 25 - 40% 5 > 40%	1 Moldfattig 0 - 2,9% 2 Moldholdig 3 - 4,4% 3 Moldholdig 4,5 - 12,4% 4 Moldholdig 12,5 - 20,4% 5 Mineralbl.mold 20,5 - 40,4% 6 Organisk > 40,4%	P-AL Lavt A 0 - 4 Middels B 5 - 7 Moderat høyt C1 8 - 10 Høyt C2 11 - 14 Meget høyt D >14	

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-5203-04

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger