

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

En studie av klimaendringenes påvirkning på nedbrytning av plantemateriale i et alpint miljø

A study of climate change effects on decomposition
of plant litter in an alpine environment

Ellen Haakonsen Karr
Master i naturforvaltning

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en avslutning på to flotte år ved masterstudiet i Naturforvaltning ved NMBU.

Arbeidet med denne oppgaven har vært en utfordrende og spennende prosess, hvor jeg har fått muligheten til å sette meg inn i et emne jeg kjente lite til fra før. Jeg har lært utrolig mye, om alt fra nedbrytningsprosesser, alpint miljø og at solkrem i strålende høyfjellssol ikke er noe man kan slurve med.

Jeg vil rette en stor takk til mine veiledere Johan Asplund, Kari Klanderud og Kristel van Zuijlen for god hjelp underveis. Avdelingsingeniør Annie Aasen har vært til stor hjelp med innføring i labarbeid, tusen takk! Takk også til stipendiat Ruben Erik Roos for hyggelig selskap på feltarbeid og morsom skitur ned fra Sanddalsnuten, samt innspill på oppgaven.

Til slutt vil jeg rette en takk til samboer, venner og familie for råd og støtte underveis!

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 14.05.2017

Ellen Haakonsen Karr

Sammendrag

De pågående klimaendringene påvirker mange naturtyper og økosystemer over hele verden. Arktiske og alpine miljøer er regnet som særlig utsatt, og det er store mengder karbon lagret i disse områdene. Nedbrytningsprosesser er viktige faktorer i global oppvarming, da nedbrytning av organisk materiale fører til utslipp av klimagasser. Global oppvarming ventes å føre til en høyere aktivitet i nedbryterorganismer, noe som igjen vil kunne føre til et høyere utslipp av CO₂. Derfor er fokus på disse områdene viktig.

I denne studien har jeg undersøkt hvordan oppvarming kan påvirke nedbrytningsprosessene i fjellet, ved bruk av en forenklet «litter-bag» metode. Mine litter-bags var i form av grønn te og Rooibos-te. Denne metoden heter Tea Bag Index, og måler nedbrytningshastighet (k) og andel stabilisert materiale (S). Teposene ble gravd ned på fjellet Sanddalsnuten i Finse, og lå der i 3 måneder før de ble gravd opp igjen. Det ble brukt to forsøksfelt, hvorav det ene Oppvarmingsfeltet, hadde kunstig oppvarmete flater (OTC) og kontroll, og det andre, Rehabiliteringsfeltet, hadde tidligere gjødslete flater, tidligere oppvarmede flater, en kombinasjon av disse, og kontroll.

ANOVA ble brukt for å undersøke signifikans, både i Oppvarmingsfeltet og Rehabiliteringsfeltet. Det ble brukt Tukey-test i Rehabiliteringsfeltet for å undersøke hvilke av behandlingene som var mest forskjellige fra hverandre.

Jeg fant at nedbrytningshastighet (k) var signifikant høyere i kontrollflater sammenlignet med OTC i Oppvarmingsfeltet. I Rehabiliteringsfeltet var nedbrytningshastighet (k) signifikant høyere i tidligere gjødslete og oppvarmede flater i forhold til de andre.

Den mest sannsynlige årsaken til at nedbrytningshastigheten var høyere i kontroll-flater i Oppvarmingsfeltet var tørke grunnet bruk av OTC. Nedbrytningshastigheten økte sannsynligvis i gjødslete og oppvarmede flater grunnet påvirkning på jordorganismer, men dette kunne ikke bekreftes.

Studien viste at fuktighet er svært vesentlig i nedbrytningsprosesser, også i kaldt klima. I tillegg var det tydelig i Rehabiliteringsfeltet at menneskelige endringer i naturmiljøet kan ha langvarige konsekvenser. Det anbefales i fremtidige studier å foreta målinger av jordfuktighet.

Abstract

The ongoing climate change affects many ecosystems and natural environments all over the world. Arctic and alpine environments are especially susceptible to climate change, and there are large amounts of carbon stored in the ground in these areas. Decomposition processes are important factors in global warming, as the decomposition of organic material causes CO₂ emissions. Global warming is expected to increase this activity, which again can increase CO₂ emissions. That is why it is important to focus on these areas.

In this study I have investigated how warming might affect decomposition processes in a mountain site, by the use of a simplified litter-bag method. The litter-bags used in my study were tea bags, green and Rooibos. This method is called the Tea Bag Index, and consists of the two parameters decomposition rate (k) and litter stabilisation factor (S). The tea bags were buried at a mountain site in Finse in the beginning of June, and were left there to decompose for three months before retrieval. I used two study sites, one which had artificial warming plots and control plots (called the Warmed field), and one that had warmed plots, fertilized plots, a combination and control (called the Recovery field).

ANOVA was used to examine if there was a significant difference between treatments in both fields. Tukey-test was used the Recovery field to check if any of the treatments differed from one another.

I found that decomposition speed (k) was significantly higher in the control-plots compared with the warmed plots in the Warmed field. In the Recovery field decomposition speed (k) was significantly higher in the plots that were both warmed and fertilized, compared to the others.

The most likely cause that decomposition speed was higher in control-plots was draught caused by OTC. The decomposition speed was most likely higher in the warmed and fertilized plots because they were affected by decomposition organisms, although this could not be confirmed.

The study showed that moisture is highly important in decomposition processes, even in a cold climate. In the Recovery field it was apparent that human induced changes in the environment can have long lasting effects. It is recommended to measure soil moisture in future studies.

Innhold

Forord	II
Sammendrag.....	IV
Abstract	VI
1. Innledning.....	10
1.1. Klimaendringer og alpine økosystemer.....	10
1.2 Nedbrytningsstudier og bruk av «litter-bags»	11
1.3 Bakgrunn for min studie.....	12
2. Materiale og metode.....	14
2.1 Studieområde.....	14
2.2 Om forsøksfeltene brukt i studien	15
2.3 Metode.....	16
2.3.1 Forarbeid	17
2.3.2 Feltarbeid.....	18
2.3.3 Etterarbeid og jordanalyser	18
2.4 Datanalyse	19
2.4.1. Oppvarmingsfeltet.....	19
2.4.2. Rehabiliteringsfeltet	20
3. Resultater.....	21
3.1 Oppvarmingsfelt.....	21
3.2 Rehabiliteringsfelt	22
3.3 Jordanalyser	24
4. Diskusjon.....	25
4.1 Oppvarmingsfelt.....	25
4.2 Rehabiliteringsfeltet	26
5. Konklusjon	29
Kilder.....	30

1. Innledning

1.1. Klimaendringer og alpine økosystemer

De pågående klimaendringene er gjenstand for bekymring, både for forskere, politikere og vanlige borgere, og den påvirker mange forskjellige naturtyper og økosystemer over hele verden. Året 2016 ble registrert som det varmest som er målt hittil. Konsentrasjonene av karbon og metan fortsetter også å øke (World Meteorological Organization 2017). Selv om klimaet på jorda aldri har vært stabilt, og alltid har hatt naturlige svingninger, er det enighet blant verdens ledende klimaforskere at det er så mye som 95 prosent sikkert av det er menneskelig påvirkning som står for mesteparten av de forandringene vi ser i dag (IPCC 2014). Denne menneskelige påvirkningen kommer da i tillegg til de allerede naturlige svingningene. Utslipp av drivhusgassen karbondioksid (CO_2) fra fossilt brennstoff er en av de viktigste årsakene til oppvarmingen (IPCC 2014).

Jordsmonn inneholder totalt mer lagret karbon enn både vegetasjonen og atmosfæren til sammen (Wallander 2014, s.126). Karbonsyklusen og nedbrytningsprosesser er derfor viktige faktorer i global oppvarming, da nedbrytning av organisk materiale fører til utslipp av blant annet CO_2 og metan (CH_4) (Grønlund et al. 2010). Nedbrytning av organisk materiale er en fysisk og kjemisk prosess. Først blir det organiske materialet brutt ned til mindre komponenter av nedbrytere og mikroorganismer i jordsmonnet. Så vil mindre organismer, slik som bakterier og sopp, i jorden bryte ned disse små komponentene til kjemiske forbindelser, som for eksempel vann, fosfat og karbon (Aerts 2006). Store deler av dette karbonet blir liggende stabilt i jordsmonnet. Dette er særlig gjeldende for arktiske og polare områder, samt i fjellet, der temperaturene er lave og primærproduksjonen lav. Disse områdene har derfor ofte store karbonlagre i jorden (Grønlund et al. 2010, s.29).

Den globale oppvarmingen ventes å føre til en høyere aktivitet hos organismene som bedriver nedbrytningen, noe som igjen vil kunne føre til et høyere utslipp av CO_2 . Dette kan føre til økte utslipp av de store mengdene lagret karbon i jordsmonnet (Hobbie et al. 2002), og på denne måten dannes det en selvforsterkende effekt. I en nyere studie har de sammenfattet resultatene fra oppvarmingsforsøk i en rekke land i verden, som støtter denne teorien (Crowther et al. 2016).

Vi ser også økt nitrogennedfall fra nedbør. I tillegg til CO₂, finnes det også ulike former for nitrogenforbindelser i fossilt brennstoff, slik som NO_x. NO_x er en fellesbetegnelse for nitrogenoksidene nitrogenmonoksid (NO) og nitrogendioksid (NO₂) (Miljødirektoratet u.å.). Dette kan ha en gjødselende effekt på jorden, og i tillegg bidra til forsuring. Dette kan være negativt for alpine plantearter som er tilpasset lavt næringsinnhold i jorden. Karakteristiske høyfjellsarter som reinrose, samt mose-og lavarter, klarer seg dårligere og vil kunne bli utkonkurrert av blant annet gressarter (Klanderud & Totland 2005).

Arktiske og alpine miljøer er særlig utsatt for klimaendringer, da temperaturøkningene er spesielt kraftige i disse områdene. Denne utviklingen blir av IPCC spådd å øke ytterligere fram mot 2100. Dette er i tillegg økosystemer som blir regnet som spesielt sensitive for endringer (Rammig et al. 2010). Dette skyldes blant annet at alpin vegetasjon er tilpasset svært spesifikke og ekstreme forhold, og er derfor ofte dårlig egnet til å tilpasse seg hvis disse endres (Körner, 1999), spesielt når det skjer så raskt som vi ser i dag. Det er allerede registrert flere endringer i fjellområdene, både i Norge og andre steder i verden. Gjennomsnittstemperaturen i norske fjellområder har hatt en økning siden 1970, og som en reaksjon på dette har lavalpine plantearter trukket stadig høyere opp i fjellet. Vegetasjon som vokser på de høyeste lokalitetene, vil da få konkurranse av disse artene. Dette kan føre til tap av endemiske høyfjellsarter. (Klanderud & Birks 2003; Odland et al. 2010). I tillegg er det observert massiv bresmelting, og siden år 2000 har de fleste breer i Norge minnet i størrelse (Winkler et al. 2009). Denne bresmeltingen vil sannsynligvis fortsette også i framtiden, og i verste fall kan breene være forsvunnet innen år 2100 (Nesje et al. 2008).

1.2 Nedbrytningsstudier og bruk av «litter-bags»

Nedbrytningsstudier er en viktig del av arbeidet med å forstå og analysere økosystemfunksjoner (Wider & Lang 1982). Nedbrytningsstudier i denne sammenhengen er en betegnelse på studier der man undersøker nedbrytningen av organisk strø av plantemateriale, i terrestriske systemer. Nedbrytningen blir målt ved å finne vekttapet til det organiske materialet.

For å kunne studere virkningene av klimaendringer på nedbrytningsprosesser er det viktig å vite hvor mye av nedbrytningen som er styrt av temperatur, og hvor mye som er styrt av andre faktorer, som for eksempel fuktighet, kvaliteten på materialet som brytes ned, næringsinnhold, samt andre egenskaper i jorda. På tross av at vi registrerer flere endringer i

høyfjellsøkosystemer, er det fortsatt ikke alle mekanismene bak disse vi forstår (Makkonen et al. 2011).

Fordi nedbrytning er en svært komplisert prosess, og gjerne jobbes med i flere forskningsdisipliner, finnes det også mange metoder innenfor dette feltet (Swift et al. 1979, s. 318). Jeg vil derfor kun gå kort inn på metodikken som er relevant for min studie.

«Litter-bags» er en utbredt metode i nedbrytningstudier (Bokhorst & Wardle 2012). Dette er poser med organisk materiale, strø, som blir gravd ned enten ute i felt, eller i laboratorieforsøk (Berg & McClaugherty 2014, s.14). Selve posene består av kunstmateriale som ikke råtner, og størrelse på maskene i posene kan varieres etter hvilke typer organismer man ønsker skal ha tilgang. Etter en viss tid, som varierer mellom forskjellige studier, blir disse posene gravd opp igjen, og man måler vekttapet (Wider & Lang 1982). Slike nedbrytningsstudier ved hjelp av «litter-bags» har vært utført i over 50 år. De er nyttige i det at de gir muligheten til å undersøke prosessene i nedbrytningen, og måle elementer slik som andel nedbrutt materiale og tap av næringsstoffer (Kampichler 2009).

1.3 Bakgrunn for min studie

Min studie baserer seg på metoden beskrevet i The Tea Bag Index (Keuskamp et al. 2013), som bruker vanlige teposer som «litter-bags». Denne metodikken skiller seg derfor noe fra tradisjonelle «litter-bag» eksperimenter. Teposene blir gravd ned på samme måte som «litter-bags», men siden posene allerede er ferdige fra produsenten, sparer man det tiden det tar å lage slike poser selv. Teposene blir veid på forhånd, og man måler vekttapet til teposene etter nedbrytning, i likhet med andre nedbrytningsstudier. Denne standardiserte metoden, samt gjør det enkelt å gjenta forsøket for andre, og resultatene er lett sammenlignbare med hverandre. Keuskamp et al. (2013) håper at denne enkle fremgangsmåten gjør at mange mennesker kan være med og bidra med data. Med flere bidragsytere kan man få en indeks som gir informasjon om funksjonene til jordsmonnet på lokal, regional og global basis (Keuskamp et al. 2013). For å oppnå dette, startet de prosjektet «Tea Time 4 Science» i 2010, der alle interesserte kan melde seg på (Keuskamp et al. 2017). På prosjektets nettside blir det fortløpende oppdatert om nye bidrag. Informasjon om jordsmonn på verdensbasis er regnet som et viktig verktøy i arbeidet mot klimaendringer og andre menneskeskapte endringer, da klimamodellene baserer seg blant annet på jordkart. Mange av kartene brukt i dette arbeidet er utdaterte og for grovkornede til å gi nok informasjon til å kunne gjøre gode beregninger

(Keuskamp et al. 2013; Sanchez et al. 2009). På denne måten kan slike prosjekter bidra til mer detaljert informasjon om jordsmonnet lokalt, og dermed gjøre klimamodeller sikrere.

Det er viktig å understreke at Tea Bag Index er en god måte å sammenligne nedbrytning på mellom forskjellige steder og ulike klimatiske faktorer, men kan ikke brukes hvis man ønsker å studere den kjemiske sammensetningen og nedbrytningsprosessen til ett spesifikt produkt eller planteart, for eksempel lokale arter (Al Chami et al. 2016).

I mine forsøk har jeg basert meg på to eksisterende forsøksfelt i alpint miljø i Finse, som begge ble brukt i studier der man undersøkte forskjellige virkinger av global oppvarming på vegetasjon. I disse ble det brukt kunstig oppvarming ved Open Top Chambers (OTC) og gjødsling, samt kontrollforsøksflater som ikke var behandlet.

Målet med denne studien har vært å finne ut om, og eventuelt hvordan, nedbrytningen i fjellet vil påvirkes av klimaendringer. I tillegg vil jeg undersøke om nedbrytning i områder som tidligere har vært utsatt for oppvarming og gjødsling, vil ha en annen nedbrytningsrate enn områder uten denne behandlingen.

På bakgrunn av dette stilles følgende spørsmål:

1. Hvor mye påvirker en temperaturøkning på ca. 1 °C i oppvarmede forsøksflater nedbrytningshastigheten (k) og andel stabilisert materiale (S)?

Jeg forventer at nedbrytningen vil gå raskere, og at andel stabilisert materiale vil være mindre i oppvarmede forsøksflater.

2. Har ett tidligere gjødslet og oppvarmet forsøksflate gått tilbake til en normal tilstand, og vil det være en signifikant forskjell i nedbrytningshastighet (k) og andel nedbrutt materiale (s) i disse forsøksflatene sammenlignet med ubehandlede forsøksflater?

Jeg forventer at det vil være forskjeller på nedbrytningshastighet og andel stabilisert materiale mellom disse behandlingene.

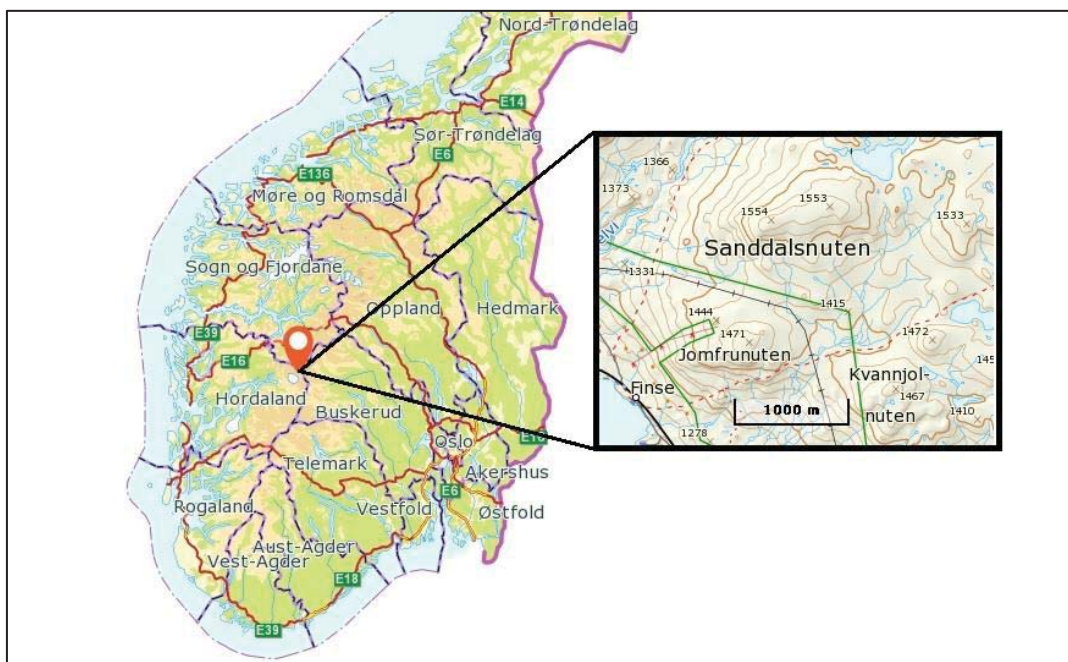
En viktig faktor i tillegg til å besvare mine egne spørsmål, har også vært å bidra til prosjektet Tea Bag Index/Tea Time 4 Science og det internasjonale jordkartet med mine data. Jeg håper dette kan være et lite bidrag til å få bedre kunnskap om klimaendringenes effekt på nedbrytning og karbonsyklusen.

2. Materiale og metode

2.1 Studieområde

Dette prosjektet ble utført på fjellet Sanddalsnuten (60°36`N og 78°31`Ø), ca. 1500 m over i havet, i nærheten av Finse i Ulvik kommune (Figur 1). Sanddalsnuten ligger i den sørvestlige delen av Hallingskarvet nasjonalpark. Den nærmeste offisielle meteorologiske målestasjonen er Finse, som ligger 1210 m o. h., og ligger 2,7 km fra Sanddalsnuten. Gjennomsnittlig temperatur for månedene juni, juli og august i perioden 1961-1990 var 6,3 °C (Aune 1993). Gjennomsnittlig nedbør for samme periode var 89 mm (Førland 1993). Til sammenligning var gjennomsnittlig temperatur for juni, juli og august i perioden 1993-2015 7,5 °C (Norges meteorologiske institutt 2017).

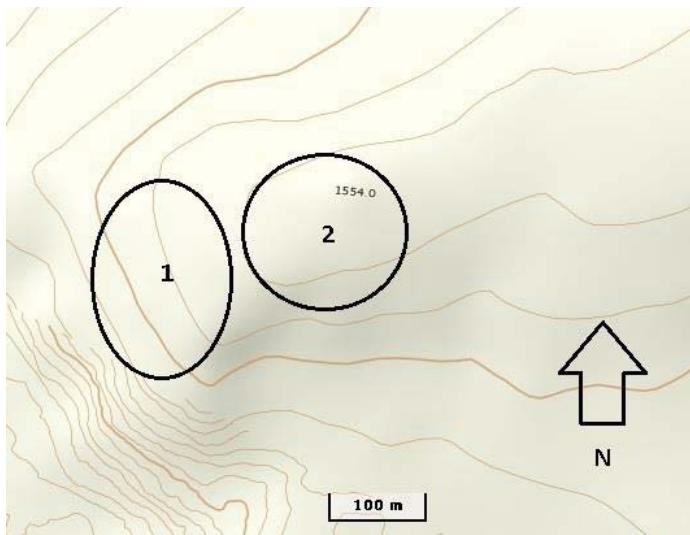
Vegetasjonen består av lavtvoksende alpine plantearter, og har store forekomster av reinrose (*Dryas octopetala*), samt musøre (*Salix herbacea*), harerug (*Bistorta vivipara*), og bergstarr (*Carex rupestris*) (Olsen & Klanderud 2013). I tillegg er det innslag av arter av nasjonal interesse, slik som blant annet berggrueblom (*Draba norvegica*) (Miljødirektoratet 2015). Det er også store innslag av lav og mose (Klanderud 2010). Berggrunnen består hovedsakelig av fyllitt og glimmerskifer (Norges geologiske utvalg u.å.), noe som gir grunnlag for relativt næringskrevende plantearter. Sanddalsnuten og de nærliggende fjellområdene har i mange år blitt brukt som forskningsområde av forskere og studenter i tilknytning til Finse Forskningsstasjon. Da det allerede var etablerte forsøksfelt med klimabehandlinger i området, gjorde dette Finse til et egnet område for min studie.



Figur 1. Kart over studieområde Sanddalsnuten i Finse (Hordaland Fylke). Sanddalsnuten innfelt. Kilde: Kartverket (2017)

2.2 Om forsøksfeltene brukt i studien

Forsøksfeltene vil heretter bli referert til som Rehabilitering og Oppvarming, hvorav feltet Rehabilitering er et avsluttet felt, mens Oppvarming fortsatt er i bruk. De lå såpass nær hverandre i terrenget at vegetasjon og klimaforhold er tilnærmet like. Felt Oppvarming ligger muligens noe mer vindutsatt til, da det ligger helt oppe på toppen av Sanddalsnuten (Figur 2).



Figur 2. Forsøksfeltenes plassering på Sanddalsnuten. Nr. 1 på kartet er felt Rehabilitering, og nr. 2 er felt Oppvarming. Kilde: Kartverket (2017)

Felt Rehabilitering ble tatt i bruk i en studie fra 2000 til 2004, hvor det ble undersøkt hvordan temperaturøkning og økt tilgang på næringsstoffer påvirket alpin vegetasjon (Klanderud & Totland 2005). Dette feltet består av 10 blokker på 1 x 1 m, som er tilfeldig plassert i sørvestsiden av fjellet. Hver blokk er delt opp i 4 forsøksflater, som hver fikk en av disse behandlingene: temperaturøkning ved bruk av Open Top Chambers (OTC), gjødsel, både temperaturøkning og gjødsling, og ingen behandling (kontroll). Det var tilfeldig hvilke flater som fikk hvilken behandling.

OTC er en enkel og kostnadseffektiv måte å heve temperaturen i et lite område på. I dette området ble det brukt OTC med en diameter på 1m, og med vegger av polykarbonat. De fører til en temperaturøkning i sommerhalvåret på bakkenivå med 1,5 °C og jordtemperatur 5 cm under bakken med 1 °C (Klanderud & Totland 2007; Marion et al. 1997).

For å øke næringsinnholdet i jorda ble det brukt NPK-gjødsel av en type som gradvis løser seg opp og avgir næringsstoffer (Klanderud & Totland 2005).

Gjødsling og kunstig oppvarming med OTC ble avsluttet i 2007 (Olsen & Klanderud 2014).

Felt Oppvarming ligger lenger opp på toppen av Sanddalsnuten. Dette feltet ble etablert i år 2000 som en langtidsstudie der man undersøker hvilke effekter oppvarming har på vegetasjonen (Klanderud & Totland 2005; Olsen & Klanderud 2013)

Her var det kun to behandlinger, OTC og kontroll. Det var totalt 80 forsøksflater, hvorav 40 var OTC og 40 var kontroll. Hver av forsøksflatene besto av to mindre flater på 30 x 60 cm, separert med en ca. 10 cm bred rand. Forsøksflatene lå spredt i terrenget, tilfeldig fordelt mellom OTC og kontroll. Jeg valgte også ut hvilke jeg skulle bruke tilfeldig, men målet var å ha totalt 40, og like mange av hver. En tellefeil i felt gjorde at jeg kun fikk brukt 38, men jeg hadde allikevel likt antall OTC og kontroll.

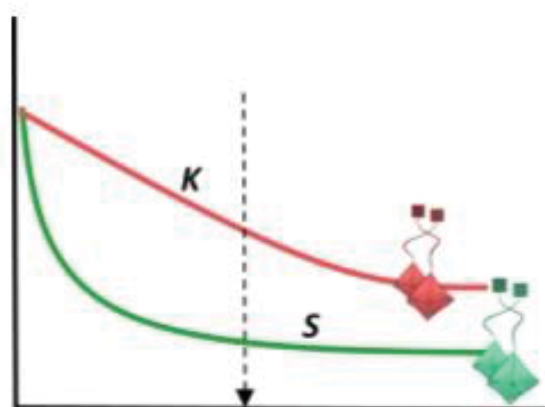
2.3 Metode

Metodikk for all behandling av teposene er gitt av protokollen «Tea time 4 science» (Keuskamp et al. u.å.). Denne protokollen gir instruksjoner på hvordan teposene skal behandles, både i forkant av forsøket, i felt og i ettertid. Det ble brukt poser av grønn te og Rooibos te (Lipton, Unilever). Teposene er pyramideformede, og består av syntetisk fiber-materiale, som ikke går i oppløsning når de blir gravd ned (Figur 3). De har en maskestørrelse på 0-2mm som er liten nok til at mikrofauna slipper igjennom, men ikke stor nok til at makrofauna gjør det. I tillegg er det også deler av mesofauna som ikke vil kunne slippe til (Keuskamp et al. 2013; Setälä et al. 1996). Det ble gravd ned en tepose av hver type i hver forsøksflate.



Figur 3. Teposene som ble brukt i forsøket. Rooibos-te til venstre og grønn te til høyre. Kilde: Keuskamp et al. (2013).

Det de kaller «Tea Bag Index» er to parametere som beskriver nedbrytningshastigheten (k), og mengden stabilisert materiale (S). Da grønn te og Rooibos te har forskjellige egenskaper, vil de brytes ned på forskjellig måte. Nedbrytningshastighet (k) er ikke en konstant faktor, men avtar over tid, da lett nedbrytbare fraksjoner vil brytes ned først. Rooibos-te har en lav nedbrytningshastighet, og etter 3 måneder i jorda er den fortsatt bare i første fasen av nedbryting. Fra Rooibos-te får vi verdien for nedbrytningshastigheten (k). Grønn te har derimot en rask nedbrytning, og etter 3 måneder gått, vil normalt alle de lett nedbrytbare fraksjonene være nedbrutt, og det er kun de mer motstandsdyktige fraksjonene som er igjen. Av grønn te får vi verdien for andel stabilisert materiale (S). S kan tolkes som en indikasjon på den begrensende effekten miljømessige faktorer har på nedbrytning. Å beregne verdier for både k og S ville vanligvis krevd tidsserier, men ved å bruke to typer organisk materiale med forskjellige egenskaper, kan man få verdier som tilsvarer både tidlig og sent i nedbrytningsprosessen (Keuskamp et al. 2013). Figur 4.



Figur 4. Skjematisk fremstilling av nedbrytningskurvene til henholdsvis grønn te og Rooibos te. Rooibos te gir verdi for nedbrytningshastighet (k), og grønn te gir verdi for andel stabilisert materiale (S). Kilde: (Keuskamp et al. 2013)

2.3.1 Forarbeid

Før avreise til Finse ble alle teposene veid lufttørket, og merket. I tillegg ble det tørket seks teposer, tre av hver type, i ovn på 70 °C i ca. 2 døgn. Disse ble brukt som kontrollposen. Teposene ble veid med lapp og tråd på. Det ble i tillegg veid tomme posen, løse lapper og tråder. På denne måten ble det regnet ut hvor stor andel av vekten som var te.

Til all veiing av teposer og jordprøver ble vekten Sartorius ED Analytical Balance ED224S benyttet, med det tilhørende dataprogrammet SartoConnect software.

2.3.2 Feltarbeid

I alt 156 teposer ble gravd ned 3. og 4. juni 2016. Av de 156 var 78 grønn te og 78 Rooibos-te. Det ble gravd ned én tepose av hver type i hver forsøksflate.

Teposene ble gravd ned 8 cm i jorden, og med ca. 15 cm mellomrom mellom de to tetyper. I Oppvarmingsfeltet ble teposene ble gravd ned i randen i midten, for å unngå å forstyrre selve forsøksflatene. Hver tepose var nummerert, og nummeret var skrevet på baksiden av lappen på posen. I tillegg ble områdene de ble gravd ned markert med en hvit plastkniv med samme nummer, for å gjøre det enklere å finne tilbake til dem (Figur 5).



Figur 5. Eksempel på hvordan teposene ble gravd ned i forsøksflaten. Plastkniv med nummer gjorde det lett å finne tilbake til posene. Foto: Ellen Haakonsen Karr

Teposene lå i jorden i 3 måneder, og ble da gravd opp i igjen i begynnelsen av september 2016. Samtidig som jeg gravde opp teposene, tok jeg også jordprøver i alle plott i Rehabiliteringsfeltet. Disse ble utført ved å bruke standard jordbor med areal på 10 cm, og en diameter på ca. 3,5 cm. Prøvene ble tatt fra samme dybde som teposene var gravd ned på. Det ble tatt fire borer fra hvert plott, som ble slått sammen til en prøve. Jordprøvene ble tatt for å undersøke om forsøksflatene fortsatt var påvirket av tidligere gjødsling, og om jordparameterne ville ha noen innvirkning på nedbrytningen til teposene. Det ble ikke tatt jordprøver i Oppvarmingsfeltet, da dette fortsatt var et felt i bruk og jordprøvetakingen kunne ha forstyrret det pågående forsøket her.

2.3.3 Etterarbeid og jordanalyser

Teposer og jordprøver ble oppbevart i tørkeskap som holdt ca. 40 °C i de tre døgnene jeg oppholdt meg på Finse. Tilbake på Ås ble teposer og jordprøver tørket på 70 °C i ytterligere to døgn. Teposene ble så veid igjen. Denne gangen ble lapp fjernet før veiing. Revnede og

ødelagte poser ble veid på lik linje med de hele, men markert. På denne måten kunne jeg fjerne data fra disse senere hvis de hadde verdier som skilte seg mye fra de andre.

Jordprøvene ble siktet i 2mm sold. Det ble analysert for pH, C/N-forhold, og andel organisk materiale.

For pH ble det brukt standard metode for jordbruksjord. Det ble tatt ut 10 ml tørket og siktet jord, som så ble løst opp i 25 ml deionisert vann, ristet og latt stå over natten. Påfølgende dag ble pH målt med elektronisk pH-meter, WTW Series inoLab pH/Cond 720. Elektroden ble dyppet i deionisert vann mellom hver måling.

For C/N analyse ble det tatt ut en liten andel jord fra hver prøve, som ble finmalt i en kulemolle. Av disse ble det så veid inn prøver på rundt 5-10 mg, som ble pakket etter instruks i tinnfolie.

Forasking for å finne andel organisk materiale ble utført 11-13 oktober 2016. Dette ble gjort ved først å tørke jordprøvene på 105 °C i ett døgn, for å deretter sette de til avkjøling i eksikator med Silika gel. Prøvene ble så brent på 550 °C over natten, i foraskningsdigler av porselen. Disse ble først veid tomme for å notere ned vekten, for å så etterpå veie de med jordprøve i.

2.4 Datanalyse

Databehandling ble utført i Excel (2010). Alle statistiske tester ble utført i RStudio, R versjon 3.3.2 (R Core Team 2016).

De to forsøksfeltene ble analysert for forholdet mellom behandling og responsene nedbrytningshastighet (k) og andel stabilisert materiale (S). Det ble vurdert å fjerne data fra teposer med hull, men da de ikke hadde verdier som skilte seg fra de andre, ble de inkludert. Det mest sannsynlige er at det gikk hull i posene under oppgravingen, da det ofte kunne være steinete og vanskelig å få de opp. Hullet vil da ikke hatt noen betydning for resultatet. Det ble undersøkt om resultater fra jordprøver hadde en innvirkning på nedbrytningshastighet (k) og andel stabilisert materiale (S).

2.4.1. Oppvarmingsfeltet

Det ble brukt ANOVA for å undersøke om effekten av behandlingene på responsvariablene nedbrytningshastighet (k) og andel stabilisert materiale (S) var signifikante. Residualene ble undersøkt visuelt for normalfordeling ved hjelp av residualplot. Residualer for responsvariabel nedbrytningshastighet (k) var normalfordelt, men ikke for andel stabilisert

materiale (S). Da ble det brukt en enveis ANOVA for nedbrytningshastighet for å undersøke om det var en forskjell mellom OTC og kontroll. Jeg brukte nmle-pakken for å kunne kjøre lme. Da residualer for responsvariabel andel nedbrutt materiale (S) ikke var normalfordelte, ble det brukt Wilcoxon rank sum t-test for å undersøke for signifikans.

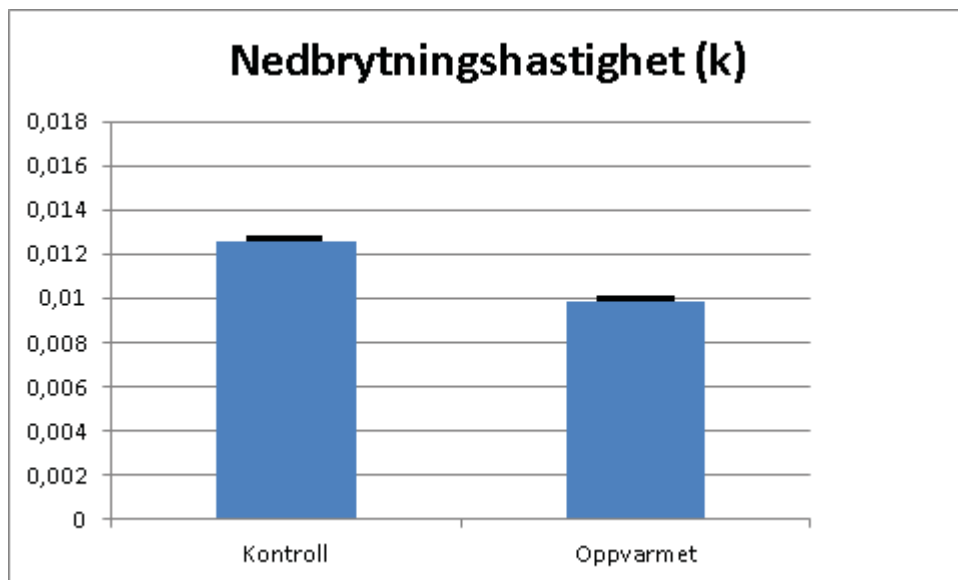
2.4.2. Rehabiliteringsfeltet

Residualer for responsvariablene nedbrytningshastighet (k) og andel stabilisert materiale (S) ble kontrollert for normalfordeling med Shapiro-Wilk normality-test. De var begge normalfordelte. Det ble så brukt lme for å undersøke om noen av de fire behandlingene (gjødslet, oppvarmet, gjødslet og oppvarmet og kontroll) hadde noen påvirkning på responsvariabler nedbrytningshastighet (r) og andel stabilisert materiale (S). Blokk ble brukt som tilfeldig faktor («Random factor»). Post-hoc Tukey-test ble brukt for å undersøke forskjellene mellom de fire behandlingene. Det ble i tillegg brukt ANOVA for å undersøke om forklaringsvariablene C, N, C:N forhold, andel organisk materiale og pH hadde innvirkning på responsene nedbrytningshastighet (k) og andel stabilisert materiale (S).

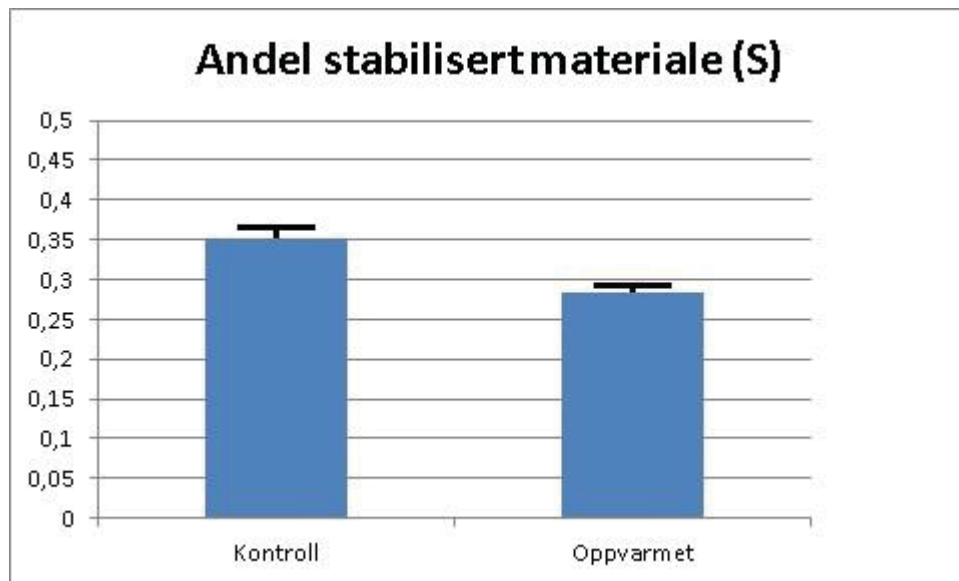
3. Resultater

3.1 Oppvarmingsfelt

Nedbrytningshastigheten (k) var signifikant forskjellig mellom oppvarmede forsøksflater og kontroll-flater ($F_{1, 34} = 11,82$; $P = 0,002$; Figur 5), og behandlingen forklarte 25 % av forskjellen i nedbrytningshastighet. Det var også signifikant forskjell i andel stabilisert materiale (S) mellom de to behandlingene (Wilcoxon test, $W = 266$, $P = 0.012$, Figur 6).



Figur 6. Stolpediagram som viser gjennomsnittlig nedbrytningshastighet (k) i kontroll-flater og OTC-flater, med $\pm$ standardfeil.

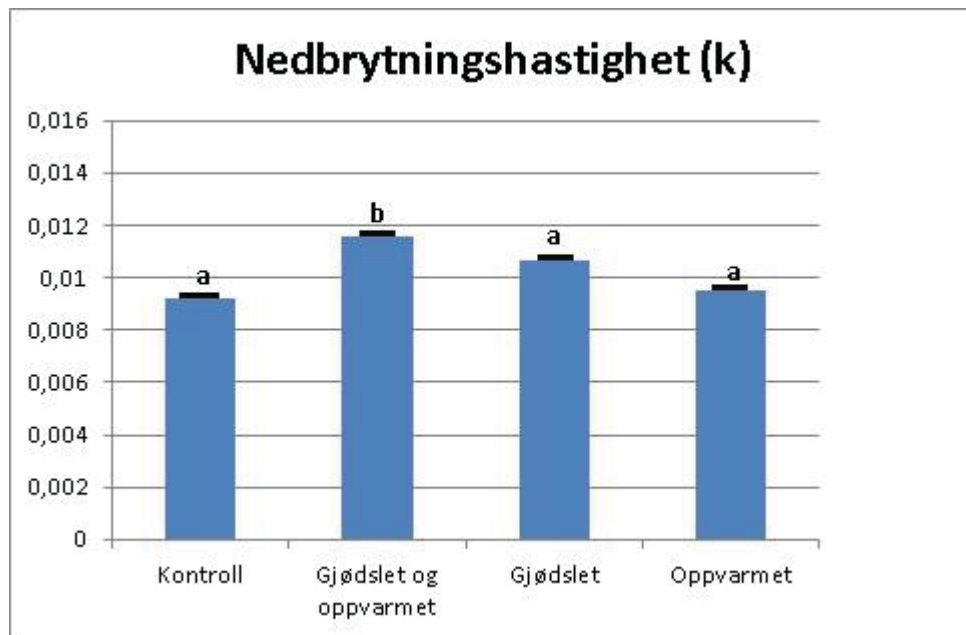


Figur 7. Stolpediagram som viser gjennomsnittlig andel stabilisert materiale (S) i kontrollflater og oppvarmede flater, med $\pm$ standardfeil

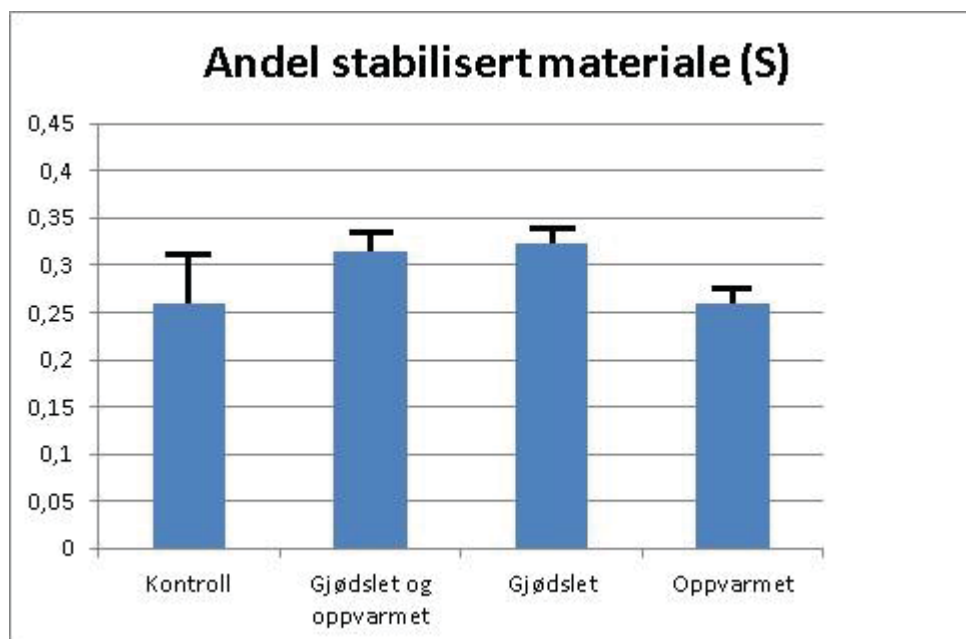
3.2 Rehabiliteringsfelt

ANOVA av responsvariabel nedbrytningshastighet (k) viste at denne var signifikant ($F_{1, 26} = 4,68$, $P = 0,0096$), og at nedbrytningshastighet (k) dermed er påvirket av behandlingene. Tukey-test av respons nedbrytningshastighet (k) viser at det var en signifikant forskjell i nedbrytningshastighet (k) mellom kontroll-flater og flater som var gjødslet og oppvarmet (TukeyHSD-test; $p=0.0053$) (Figur 8). Det var derimot ingen signifikant forskjell mellom noen av de andre behandlingene.

ANOVA av responsvariabel andel nedbrutt materiale (S) viste at denne var signifikant ($F_{1, 26} = 3.53$, $P = 0,0285$). Tukey-test av andel stabilisert materiale (S) viste derimot at det kun er svake forskjeller mellom behandlingene, men at disse ikke er tydelige nok til å kunne fastslå at noen signifikante forskjeller mellom disse (Figur 9).



Figur 8. Stolpediagrammet viser forskjeller i nedbrytningshastigheten (k) i Rehabiliteringsfeltet mellom de forskjellige behandlingene. Gjødslet/oppvarmet er den behandlingen som hadde høyest nedbrytningshastighet. Med $\pm$ standardfeil.



Figur 9. Stolpediagrammet viser forskjell i andel stabilisert materiale (S) mellom behandlingene, med $\pm$ standardfeil. Her var ikke forskjellene store nok til å kunne kalles signifikante.

Tabell 1. Sammendrag av ANOVA av de forskjellige responsvariablene i Rehabiliteringsfeltet. Tall i fet skrift er signifikante.

Respons	DF	F(P)
Nedbrytningshastighet (k)	1,27	4.6782 (0.0096)
Stabilisert materiale (s)	1,27	3.5344 (0.0285)
Nitrogen (N)	1,27	0.22531 (0.878)
Karbon (C)	1,27	0.37292 (0.7732)
C:N forhold	1,27	1.8452 (0.1628)
pH	1,26	1.5252 (0.2315)
Andel org. materiale	1,27	0.38253 (0.7664)

3.3 Jordanalyser

Resultater fra jordprøver viste ingen verdier som var signifikant forskjellige mellom behandlingene. Se tabell 2.

Tabell 2. Gjennomsnitt ± standardfeil for jordprøveresultatene i de ulike behandlingene.

	Gjennomsnitt ± standardfeil for jordprøveresultatene for de ulike behandlingene			
Respons	Gjødslet	Gjødslet/Oppvarmet	Oppvarmet	Kontroll
pH	6,2±0,20	6,4±0,11	6,4±0,19	6,3±0,20
C:N forhold	13±0,31	12,5±0,29	13,5±0,75	13,9±0,71
C	5,04±0,58	4,87±0,50	6,15±1,64	5,77±0,53
N	0,39±0,83	0,16±0,04	0,46±0,13	0,42±0,04
Andel organisk materiale	0,11±0,01	0,10±0,90	0,12±0,04	0,11±0,01

4. Diskusjon

4.1 Oppvarmingsfelt

Nedbrytningshastigheten (k) var signifikant raskere i kontroll-forsøksflatene sammenlignet med oppvarmede flater. Dette var noe overraskende, og stemte ikke overens med hypotesen om at nedbrytningen ville gå raskere i oppvarmede OTC-plott. Det var særlig oppsiktsvekkende med tanke på at temperatur regnes som den viktigste styrende faktoren for nedbrytning i kaldt klima med en årlig gjennomsnittstemperatur på under 10 °C (Prescott 2010). Dette kan skyldes at nedbrytning av organisk materiale styres av mange faktorer, og at temperatur alene ikke kan forklare hastigheten på nedbrytning. En teori kan være at oppvarmede forsøksflater har høyere vannfordamping, og dermed er tørrere enn kontroll-flater. Mangel på fuktighet kan hemme mikroorganismer, og dermed redusere nedbrytningshastigheten. Da jeg ikke har foretatt noen målinger av fuktighet i jorden, kan ikke dette bekreftes eller avkreftes. Et litteratursøk viser derimot tendenser til lignende resultater fra andre studier. En studie utført i Abisko nord i Sverige viste at bruk av OTC reduserte jordfuktigheten kraftig, sammenlignet med kontroll-flatene (Makkonen et al. 2011). Typen OTC brukt i dette forsøket var svært like de som ble brukt i min studie. Her observerte de at dette hemmet aktiviteten til spretthaler (Collembola) i jordsmonnet. I tillegg til å hemme aktiviteten, så de også en reduksjon i arts mangfoldet av spretthaler, hvor enkelte tørketollerante arter overtok for de mer fuktelskende. Makkonen et al. (2011) konkluderer med at det er viktig å være klar over at fuktighet kan være en sterk indirekte faktor i OTC-forsøk, og kan påvirke nedbrytningshastighet mer enn temperatur. De understreker også at selv om deres forsøk ga utslag på spretthalene, har andre lignende OTC-forsøk fra kalde områder gitt andre resultater, både angående jordfuktighet og hvilke arter som ble påvirket (Dollery et al. 2006). Dette kan indikere at det kan være mange lokale faktorer som spiller inn. Det er også viktig å påpeke at selv om nedbrytningsratene var høyere i kontroll-flater enn i de oppvarmede flatene, var de allikevel lave sammenlignet med nedbrytningshastighet som kan forekomme i tempererte områder (Se Keuskamp et al. 2013).

Aerts (2006) fant indikasjoner på at metoden for oppvarming også kunne ha betydning for nedbrytningshastighet. Her ble det registrert at bruk av OTC nettopp reduserte nedbrytningshastigheten, i likhet med mine resultater, men at bruk av varmelamper derimot økte den. Her ble det også poengtert hvor viktig jordfuktigheten var i nedbrytningsprosessen.

4.2 Rehabiliteringsfeltet

På tross av at gjødsling og kunstig oppvarming i Rehabiliteringsfeltet ble avsluttet i 2007 (Olsen & Klanderud 2014), var det allikevel signifikant forskjell i nedbrytning i både gjødslede og oppvarmede flater, sammenlignet med kontroll-flater og kun oppvarmede flater. Dette viser at endringer vi gjør i naturen, kan ha svært langvarige konsekvenser. Det var en tydelig forskjell i vegetasjon mellom disse forsøksflatene, og tidligere gjødslete flater hadde fortsatt en overvekt av gressarter sammenlignet med kontroll-flater (Pers. observasjon, Karr 2016). Dette blir bekreftet av Olsen og Klanderud (2014), som også registrerte dette i 2012. Det blir allikevel påpekt at vegetasjonen var nærmere en normaltilstand sammenlignet med tiden rett etter behandlingene fant sted i 2007, og at dette derfor kan tyde på at en rehabiliteringsprosess er i gang.

Dette er et resultat som stemmer godt med det som er funnet i andre, tilsvarende studier. Mack et al. (2004) fant i en langstidsstudie fra Alaska at kunstig gjødsling økte både primærproduksjon og nedbrytningshastighet, og at nedbrytning ble påvirket i enda større grad enn plantevekst. Også her så de en endring i plantesamfunnet som et resultat av gjødsling. Det er også påvist i andre studier at tilførsel av nitrogen vil kunne øke nedbrytningshastigheten (Lin et al. 2013; Vivanco & Austin 2011). I mine resultater var derimot nivået av nitrogen i jorden lik mellom de forskjellige forsøksflatene, på tross av tidligere gjødsling og denne hadde ingen signifikant betydning for nedbrytningen. Det var derfor ikke mulig å trekke en konklusjon om at dette var årsaken til den forhøyede nedbrytningsraten i gjødslete/oppvarmede forsøksflater.

Både Lin et al. (2013) og Vivanco og Austin (2011) brukte stedegent plantemateriale i eksperimentene. Det er indikasjoner på at slikt lokalt plantemateriale gjerne har en høyere nedbrytningsrate enn fremmed materiale (Strickland et al. 2009). Didion et al. (2016) utførte en nedbrytningsstudie som kombinerte bruk av teposer og lokalt plantemateriale, for å undersøke nettopp denne problemstillingen. I denne studien fant de derimot at nedbrytningsdynamikken til teposene var godt sammenlignbare med lokale arter.

En faktor som kan være viktig å merke seg at teposene med en maskestørrelse på 0-2 mm ikke er stormaskede nok til å slippe til hverken makrofauna eller deler av mesofauna. Jordorganismer er regnet som svært viktige, og det er påvist at en manipulering av hvilke av disse som har tilgang til strøet, i stor grad også styrer grad av nedbrytning (Bradford et al.

2002; Slade & Riutta 2012). Med liten maskestørrelse, vil det kun være mikrofauna, sopp og mikrober som bryter ned det organiske materialet. En større maskestørrelse vil kunne slippe til flere nedbryterorganismer, men også føre til tap av strø ut av maskene, som kan gi feilmålinger av nedbrutt materiale (Bokhorst & Wardle 2012). Dette er riktignok ikke unikt for teposene, da mange nedbrytningsstudier bruker en tilsvarende maskestørrelse som disse, men det er allikevel en faktor som bør tas med i betraktningen, og som kan ha påvirket mine resultater.

Hågvar og Klanderud (2009) undersøkte 2004 hvilken effekt gjødsling og oppvarming hadde på bestandene av spretthaler og midd i Rehabiliteringsfeltet, og fant at disse behandlingene påvirket artssammensetningen på flere måter. Antall arter totalt ble redusert, samtidig som enkelte generalister økte i antall. Flere spretthalearter ble også negativt påvirket, og minket i antall. Selv om maskestørrelsen på teposene sannsynligvis er for liten til at enkelte av disse organismene kunne fått tilgang, skal det ikke sees bort ifra at tidligere behandlinger med gjødsling og oppvarming også kan ha påvirket mindre nedbryterorganismer.

pH var ikke signifikant, så heller ikke her var det mulig å trekke noen konklusjon om at denne skulle hatt en betydning for nedbrytning. En lav pH vil kunne begrense nedbrytningen, da mange nedbryterorganismer trives dårlig i sur jord (Swift et al. 1979). Dette var ikke tilfelle her, da pH var relativt høy med et gjennomsnitt på 6,3. pH skal derfor ikke ha vært en begrensende faktor i denne studien.

Måling av C:N forholdet, samt andel total nitrogen og karbon var ikke signifikant. Det skal allikevel nevnes at det kun ble målt total andel nitrogen og karbon i min studie, var derfor er det ikke mulig å vite hvor stor andel av dette som eventuelt var tilgjengelige nitrogen- og karbonforbindelser.

Baptist et al. (2010) fant i en studie fra de franske Alpene at store deler av nedbrytningen av ferskt strø og plantemateriale i alpine områder faktisk foregår om vinteren, og ikke om sommeren. Dette skal delvis skyldes mekanisk ødeleggelse fra fryst jordsmonn, men hovedsakelig at snølaget fungerte som isolasjon mot store temperaturforandringer, slik at temperaturen ble liggende mer stabilt på 0 °C. De så en signifikant høyere nedbrytning i snøleier med sen snøsmelting, sammenlignet med andre. Dette er en indikator på at snømengden i fjellet også vil spille en viktig rolle. Dette er særlig interessant med tanke på at snømengden i fjellene har minket med gjennomsnittlig 10 % siden midten av 1980-tallet

(Serreze et al. 2000). Når snøleier grunnet mildere klima og tørrere vintre minker i utbredelse, vil det altså ikke bare kunne ha konsekvenser for plantesamfunn og arts mangfold, men også for nedbrytningen av plantemateriale.

Det var gjennomgående klarere resultater på nedbrytningshastighet (k) enn på andel stabilisert materiale (S). Det var også for min del vanskeligere å trekke konklusjoner om resultatene på S , sammenlignet med k , da de statistiske testene gav noe svake og motstridende resultater. Mange nedbrytningsstudier publiserer ikke verdier for andel stabilisert materiale i sine resultater, men har hovedfokus på nedbrytningshastighet, og det var derfor vanskelig for meg å sammenligne resultatene mine med andre studier angående dette. Keuskamp et al. (2013) registrerte at verdi for S sank med høyere temperaturer og mindre nedbør, men økte i jord med stort potensiale for karbonlagring. I tillegg blir det trukket fram at i kalde områder med lav nedbrytningshastighet (k), kan det forekomme at verdien for stabilisert materiale (S) blir overestimert. Dette skyldes da at nedbrytningen har gått så sakte at de lett nedbrytbare fraksjonene enda ikke er brutt helt ned. Verdiene vil da ikke kunne sies å gi et korrekt bilde av situasjonen.

5. Konklusjon

Denne studien hadde som mål å undersøke om global oppvarming ville ha en effekt på nedbrytningsprosesser i fjellet. Det er for min del usikkert i ettertid om akkurat dette målet ble nådd, og om metodene var nøyaktige nok til å si noe om dette. Derimot forteller den noe vesentlig om betydningen av fuktighet for nedbrytningsprosesser, også i kaldt klima.

Det ble også bekreftet gjennom Rehabiliteringsfeltet at menneskelige endringer i form av gjødsling og oppvarming vil kunne forårsake langvarige endringer i naturen, og på denne måten også påvirke nedbrytningsprosesser. En endring i planteartene grunnet klimaendringer, kan også endre strøets sammensetning. En slik endring kan igjen få konsekvenser for nedbrytningsfunksjoner, da den kjemiske sammensetningen i plantemateriale spiller en stor rolle. Da det ble funnet i 2004 at behandlingene i Rehabiliteringsfeltet hadde en sterk innvirkning på jordorganismene, hadde det vært interessant om det ble foretatt en ny undersøkelse her for å se om denne påvirkningen var like sterk i dag.

Det virker svært sannsynlig av tørke grunnet bruk av OTC påvirket resultatene i denne studien. På grunnlag av dette resultatet anbefaler jeg målinger av jordfuktighet i lignende, fremtidige forsøk for å undersøke om dette faktisk var tilfellet. Det kunne i tillegg vært nyttig å gjøre en studie der man benyttet seg av stedegent plantemateriale, for å se om dette ville gitt andre resultater enn teposene gav.

Det anbefales også å utføre et tepose-forsøk som også går gjennom vintersesongen, for å undersøke om dette vil påvirke nedbrytningen.

Keuskamp et al. (2013) påpeker selv at metoden ikke er en fullgod erstatning for tradisjonelle «litter-bag»-studier, men at den allikevel er et godt verktøy for å kartlegge nedbrytningsprosesser i mange forskjellige økosystemer. De kan også brukes ved siden av andre typer «litter-bags» som sammenligningsgrunnlag.

Studien bekrefter at teposer er et praktisk verktøy, og at metoden er pålitelig nok til å gi resultater. Jeg håper mine data kan komme prosjektet «Tea Time 4 Science» til nytte, og bli et bidrag til det internasjonale jordkartet i arbeidet med å utvikle bedre klimamodeller.

Kilder

- Aerts, R. (2006). The freezer defrosting: global warming and litter decomposition rates in cold biomes. Essay review. *Journal of Ecology*, 94: 713-724.
- Al Chami, Z., Bou Zein Eldeen, S., Al Bitar, L. & Atallah, T. (2016). Decomposition of olive-mill waste compost, goat manure and Medicago sativa in Lebanese soils as measured using the litterbag technique. *Soil Research*, 54 (2): 191-199.
- Aune, B. (1993). Temperaturnormaler: normalperiode 1961-1990. *Klima*. Oslo, Norge: Det norske meteorologiske institutt.
- Baptist, F., Yoccoz, N. & Choler, P. (2010). Direct and indirect control by snow cover over decomposition in alpine tundra along a snowmelt gradient. *An International Journal on Plant-Soil Relationships*, 328 (1): 397-410.
- Berg, B. & McClaugherty, C. (2014). *Plant Litter : Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Berlin/Heidelberg: Berlin/Heidelberg, DEU: Springer Berlin Heidelberg.
- Bokhorst, S. & Wardle, D. A. (2012). Microclimate within litter bags of different mesh size: Implications for the 'arthropod effect' on litter decomposition. *Soil Biology & Biochemistry*, 58: 147-152.
- Bradford, M. A., Tordoff, G. M., Eggers, T., Jones, T. H. & Newington, J. E. (2002). Microbiota, Fauna, and Mesh Size Interactions in Litter Decomposition. *Oikos*, 99 (2): 317-323.
- Crowther, T. W., Todd-Brown, K. E. O., Rowe, C. W., Wieder, W. R., Carey, J. C., Machmuller, M. B., Snoek, B. L., Fang, S., Zhou, G., Allison, S. D., et al. (2016). Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*, 540 (7631): 104.
- Didion, M., Repo, A., Liski, J., Forsius, M., Bierbaumer, M. & Djukic, I. (2016). Towards harmonizing leaf litter decomposition studies using standard tea bags—A field study and model application. *Forests*, 7 (8): 167.
- Dollery, R., Hodkinson, I. D. & Jónsdóttir, I. S. (2006). Impact of warming and timing of snow melt on soil microarthropod assemblages associated with Dryas-dominated plant communities on Svalbard. *Ecography*, 29 (1): 111-119.
- Førland, E. J. (1993). Nedbørnormaler: 1961-1990. *Klima*. Oslo, Norge: Det norske meteorologiske institutt.
- Grønlund, A. K., Bjørkelo, G. H. & Tomter, S. (2010). CO₂-opptak i jord og vegetasjon i Norge. Lagring, opptak og utslipp av CO₂ og andre klimagasser: Bioforsk. 37 s.
- Hobbie, S. E., Nadelhoffer, K. J. & Högberg, P. (2002). A synthesis: The role of nutrients as constraints on carbon balances in boreal and arctic regions. *Plant and Soil*, 242 (1).

- Hågvær, S. & Klønderud, K. (2009). Effect of simulated environmental change on alpine soil arthropods. *Global Change Biology*, 15 (12): 2972-2980.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva, Sveits. 151 s.
- Kampichler, C., Bruckner, A. . (2009). The role of microarthropods in terrestrial decomposition: a meta-analysis of 40 years of litterbag studies. *Biological Reviews*, 84 (3): 375-389.
- Karr, E. H. (2016). (Personlig observasjon på feltarbeid Juni 2016).
- Kartverket. (2017). Norgeskart. Tilgjengelig fra: www.norgeskart.no (lest 20.02.2017).
- Keuskamp, J. A., Dingemans, B. J. J., Lehtinen, T., Sarneel, J. M. & Hefting, M. M. (2013). Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, 4 (11): 1070-1075.
- Keuskamp, J. A., Sandén, T., Sarneel, J. M. & Hefting, M. M. (2017). *Tea Bag Index*. Tilgjengelig fra: <http://www.teatime4science.org/> (lest 12.04.2017).
- Keuskamp, J. A., Dingemans, B. J. J., Lehtinen, T., Sarneel, J. M. & Hefting, M. M. (u.å.). *TeaTime4Science*.
- Klønderud, K. & Birks, H. J. B. (2003). Nylige endringer i Jotunheimens flora – et resultat av klimaforandring? *Naturen*, 127 (02): 62-70.
- Klønderud, K. & Totland, Ø. (2005). Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot. *Ecology*, 86 (8): 2047-2054.
- Klønderud, K. & Totland, Ø. (2007). The relative role of dispersal and local interactions for alpine plant community diversity under simulated climate warming. *Oikos*, 116 (8): 1279-1288.
- Klønderud, K. (2010). Species recruitment in alpine plant communities: the role of species interactions and productivity. *Journal of Ecology*, 98 (5): 1128-1133.
- Lin, G.-G., Mao, R., Zhao, L. & Zeng, D.-H. (2013). Litter decomposition of a pine plantation is affected by species evenness and soil nitrogen availability. *Plant and Soil*, 373 (1): 649-657.
- Mack, M. C., Schuur, E. A. G., Bret-Harte, M. S., Shaver, G. R. & Chapin, F. S. (2004). Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. *Nature*, 431 (7007): 440-443.
- Makkonen, M., Berg, M. P., van Hal, J. R., Callaghan, T. V., Press, M. C. & Aerts, R. (2011). Traits explain the responses of a sub-arctic Collembola community to climate manipulation. *Soil Biology & Biochemistry*, 43: 377-384.

- Marion, G. M., Henry, G. H. R., Freckman, D. W., Johnstone, J., Jones, G., Jones, M. H., Lévesque, E., Molau, U., Mølgaard, P., Parsons, A. N., et al. (1997). Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems. *Global Change Biology*, 3 (S1): 20-32.
- Miljødirektoratet. (2015). *Naturbase kart*. Tilgjengelig fra: <http://kart.naturbase.no/> (lest 04.02.2017).
- Miljødirektoratet. (u.å.). *Nitrogenoksid (NO_x)*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Luft/NOx/> (lest 14.03.2017).
- Nesje, A., Bakke, J., Dahl, S. O., Lie, Ø. & Matthews, J. A. (2008). Norwegian mountain glaciers in the past, present and future. *Global and Planetary Change*, 60 (1): 10-27.
- Norges geologiske utvalg. (u.å.). *Bergrunn-nasjonal berggrunnsdatabase* (lest 15.01.2017).
- Norges meteorologiske institutt. (2017). *E-klima: Meteorologisk institutt*. Tilgjengelig fra: www.eklima.met.no (lest 25.04.2017).
- Odland, A., Høitomt, T. & Lie Olsen, S. (2010). Increasing Vascular Plant Richness on 13 High Mountain Summits in Southern Norway since the Early 1970s. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 42 (4): 458-470.
- Olsen, S. L. & Klanderud, K. (2013). Biotic interactions limit species richness in an alpine plant community, especially under experimental warming *Oikos*, 123 (1): 71-78.
- Olsen, S. L. & Klanderud, K. (2014). Exclusion of herbivores slows down recovery after experimental warming and nutrient addition in an alpine plant community. *Journal of Ecology*, 102 (5): 1129-1137.
- Prescott, C. E. (2010). Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry*, 101 (1): 133-149.
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. . Vienna, Sveits: R Foundation for Statistical Computing.
- Rammig, A., Jonas, T., Zimmermann, N. E. & Rixen, C. (2010). Changes in alpine plant growth under future climate conditions. *Biogeosciences*, 7: 2013–2024.
- Sanchez et al. (2009). Digital Soil Map of the World *Science*, 325 (5941): 680-681.
- Serreze, M., Walsh, J., Chapin, F., Osterkamp, T., Dyurgerov, M., Romanovsky, V., Oechel, W., Morison, J., Zhang, T. & Barry, R. (2000). Observational Evidence of Recent Change in the Northern High-Latitude Environment. *Climatic Change*, 46 (1): 159-207.
- Setälä, H., Marshall, V. G. & Trofymow, J. A. (1996). Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and ¹⁵N uptake by poplar in a pot trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 28 (12): 1661-1675.

- Slade, E. M. & Riutta, T. (2012). Interacting effects of leaf litter species and macrofauna on decomposition in different litter environments. *Basic and Applied Ecology*, 13 (5): 423-431.
- Strickland, M. S., Osburn, E., Lauber, C., Fierer, N. & Bradford, M. A. (2009). Litter quality is in the eye of the beholder: initial decomposition rates as a function of inoculum characteristics. *Functional Ecology*, 23 (3): 627-636.
- Swift, M. J., Heal, O. W. & Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Studies in ecology, b. 5. Oxford: Blackwell. 372 s.
- Vivanco, L. & Austin, A. T. (2011). Nitrogen addition stimulates forest litter decomposition and disrupts species interactions in Patagonia, Argentina. *Global Change Biology*, 17 (5): 1963-1974.
- Wallander, H. (2014). *Soil. Reflections on the Basis of our existence*: Springer International Publishing. 146 s.
- Wider, R. K. & Lang, G. E. (1982). A Critique of the Analytical Methods Used in Examining Decomposition Data Obtained From Litter Bags. *Ecology*, 63 (6): 1636-1642.
- Winkler, S., Elvehøy, H. & Nesje, A. (2009). Glacier fluctuations of Jostedalsgreen, western Norway, during the past 20 years: the sensitive response of maritime mountain glaciers *The Holocene*, 19 (3): 395-414.
- World Meteorological Organization. (2017). *WMO confirms 2016 as hottest year on record, about 1.1°C above pre-industrial era* (lest 24.01.2017).



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway