

Noregs miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgåve 2019 30 stp

Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Krekling (*Empetrum nigrum*) sin påverknad på mortalitet og rekruttering på tre i tregrenseøkotonen

Crowberry (*Empetrum nigrum*) impact on mortality
and recruitment on trees in the treeline ecotone.

Inger Elisabeth Hilstad

Master i naturforvaltning

Føreord

Denne masteroppgåva markerer slutten på mastergraden min i naturforvaltning ved fakultet for miljøvitskap og naturforvaltning (MINA) på Norges miljø- og biovitskaplege universitet (NMBU).

Eg vil takka rettleiarane mine professor Kari Klanderud, forskar Ole Martin Bollandsås og doktorgradstudent Ida Marielle Mienna for mykje god hjelp og god oppfølging. Takk til Ida Marielle Mienna, Kenneth Langlie Simensen og Vegard Lien for fine veker i felt! Til slutt ein takk til Universitetet for miljø og biovitskaps forskingsfond for støtte til gjennomføring av feltarbeidet.

Inger Elisabeth Hilstad

Ås, 10. mai 2019.

Samandrag

Klimaet er i endring, noko som vil påverka veksten, samansetninga og utbreiinga til vegetasjonen. Mange studiar har synt at det er i tregrenseøkotonen slike endringar vil vera tydelegast. Ulike studiar syner at krekling (*Empetrum nigrum*) har allelopatiske eigenskapar som gjer krekling sterkare i konkurranse med andre artar. Forsking har synt at det er temperatur som styrer utviklinga i tregrensa, men konkurranse artane i mellom er òg styrande for utviklinga. Problemstillinga for denne masteroppgåva var: «Kan krekling og annan vegetasjon påverka rekruttering og mortalitet til trea i tregrenseøkotonen?»

Det blei gjort tre- og vegetasjonsregistreringar fordelt på 36 lokalitetar i Noreg. Lokalitetane ligg på eit 1500 km langt transekt, som strekker seg frå Agder i sør til Senja i nord. Treregistreringar blei gjort i 2008 og i 2018 blei det gjort både tre- og vegetasjonsregistreringar. For å finne ut om krekling og andre vegetasjonsvariablar hadde ein innverknad, gjorde me statistisk modellering. Målet er å finna dei forklaringsvariablane som forklarar mortalitet og rekruttering. For å sjå på samanhengen mellom forklarings- og responsvariablar har eg nytta generaliserte lineære modellar (GLM) med Gaussisk fordeling for mortalitet og negativ-bionomiell for rekruttering.

Det har blitt fleire tre i tregrenseøkotonen sidan 2008. Resultata mine synte at krekling har ein positiv påverknad på overlevinga til trea og inga påverknad på rekrutteringa. Eg fann ein samanheng mellom tal artar og krekling, noko som kan bety ein mogleg allelopatisk påverknad. Eg fann at jorddjupn hadde ein negativ påverknad på overlevinga og at vegetasjonshøgde hadde ein negativ påverknad på rekrutteringa. At vegetasjonshøgde fekk ein negativ påverknad kan skuldast tett og høg vegetasjon gjer da vanskeleg for eit frø å kome til. Det var eit lågt gjennomsnittleg kreklingdekke i studien min, det kan vera noko av årsaka til eg ikkje finn samanheng mellom rekruttering og krekling. Røsslyng (*Calluna vulgaris*) hadde ein negativ påverknad på rekruttering som kan henga saman med mengd strø det produserer.

For å vidare styrka kunnskapsgrunnlaget om endringane i tregrenseøkotonen vil det vera viktig å halda fram med tre- og vegetasjonsregistreringane.

Abstract

The climate is changing, something that may affect the growth, composition and distribution of vegetation in an ecosystem. Many studies have shown that in the treeline ecotone such changes will be most obvious. Various studies show that crowberries (*Empetrum nigrum*) have allelopathic properties that can make it stronger in competition with other species. Research has shown that temperature controls the treeline dynamics, but perhaps competition between the species has an effect. My question in this study was: "can crowberry and other vegetation affect tree recruitment and mortality in the treeline ecotone?"

In this study, tree and vegetation observations were recorded at 36 sites along a 1500 km long transect in Norway. Tree registrations were carried out in 2008 and 2018 and for vegetation this was done in 2018. To find out if crowberry and other vegetation variables could explain patterns in tree recruitment and mortality, I used statistical modelling. This was done by modelling the relationships using generalized linear models (GLMs), where Gaussian distribution was chosen as the distribution model for mortality and negative-binomial for recruitment.

More trees were observed in the treeline ecotone in 2018 than 2008. Crowberry was found to have a positive relationship on the survival of trees but had no significant relationship with recruitment. Crowberry also had a significant negative relationship with number of species, suggesting a possible allelopathic affect form crowberry on other species. I found that soil depth had a negative impact on survival and that vegetation height had a negative impact on recruitment. The fact that vegetation height has a negative impact can be because of the dense and high vegetation makes it difficult for a seed to reach bare ground. It was a low average crowberry cover in my study, maybe that is the reason I could not find any connection between recruitment and crowberry. Heather (*Calluna vulgaris*) had a negative impact that could be related to the amount of litter it produces.

To increase the knowledge about treeline dynamics, it will be important to continue with the tree and vegetation records to create a long-term dataset.

Innhold

Føreord.....	2
Samandrag.....	4
Abstract	6
1 Innleiing.....	9
2 Material og metode.....	12
2.1 Bakgrunn	12
2.2 Studieområde	12
2.3 Registrering av tre på lokalitetane	13
2.4 Vegetasjonsregistreringar	14
2.5 Utrekningar av responsvariablar	15
2.5.1 Mortalitet	15
2.5.2 Rekruttering.....	15
2.6 Statistiske analysar	16
2.6.1 Utveljing av forklaringsvariablar.....	16
2.6.2 Deskriptiv statistikk	17
2.6.3 Modellering	17
3 Resultat.....	19
3.1 Mortalitet	20
3.2 Rekruttering.....	21
4 Diskusjon	21
4.1 Tal artar og krekling.....	22
4.2 Mortalitet	22
4.3 Rekruttering.....	23
4.4 Konklusjon	26
5 Referansar	27
Vedlegg.....	32

1 Innleiing

Klimaet i Noreg og resten av verda blir stadig varmare, dette vil ha konsekvensar for dei alpine fjellområda og truleg vil temperaturen halda fram med å stiga (IPCC, 2014; Hanssen-Bauer et al., 2015). Truleg blir det endringar i mengd nedbør, både som regn og snø (IPCC, 2014; Hanssen-Bauer et al., 2015). Dette vil truleg føra til endringar i vegetasjonen i den alpine sonen (Elmendorf et al., 2012), og eit resultat kan vera at det blir reduksjon av fjellareal fordi skogen kryp oppover (Speed, Austrheim, Hester & Mysterud, 2010). Fleire studiar har synt at det er ei endring i tregrenseøkotonen, både i Noreg og andre plassar i verda, men at det er regionale forskjellar (Harsch, Hulme, McGlone & Duncan, 2009; Dalen & Hofgaard, 2005). Harsch et al. (2009) gjorde ei litteratursamanstilling og fann ein auke i tregrensa på 52% av dei undersøkte områda, i to av dei 166 undersøkte områda var den redusert. Grunna auke i temperaturane har ein gjennom fleire resamlingsstudiar i Europa sett ein auke i artsrikdomen, høgt til fjells (Steinbauet et al., 2018; Klanderud & Birks, 2003). Konsekvensane kan bli at det blir auka konkurranse mellom artane i tregrenseøkotonen og at samspelet endrar seg. Forsking har og synt at det ikkje har vore noko auke i artsrikdomen i tundraområde dei siste 30 åra, men at eksisterande planter har auka i høgd og mengde (Elmendorf et al., 2012). Ei endring i klimaet kan difor vera med å endra det biologiske miljøet som er med på å bestemma tilveksten i tregrenseøkotonen.

Tregrenseøkotonen er ein landskapstype der det kan vera lett å sjå klimaendringane, då landskapet er dynamisk og ligg i eit klimatisk område som er lett påverkeleg av endringar, enten det gjeld klima, ras, beitebruk, eller fråvær av bruk. I tregrenseøkotonen går skoggrensa og tregrensa som eit belte gjennom landskapet (Körner & Paulsen, 2004). Tregrenseøkotonen er ei flytande grense, som markerer slutten på samanhengande skog (Körner & Paulsen, 2004). I følgje Körner & Paulsen (2004) er tregrensa det høgaste punktet enkeltvis tre klarar å vekse, og dei enkelte trea er over tre meter. I skoggrensa er det mindre enn 30 meter mellom trea, og dei enkelte trea er over 5 meter (Sundig, 2019). Skog- og tregrensa er nærare havet ved nordlege breiddegrader, enn ved sørlege breiddegrader (Körner, 2012, s. 25-26; Store norske leksikon, 2018). Skoggrensa strekker seg høgare i sørvendte skråningar og mindre uttrekt i nordvendte skråningar. Det er dei mest hardføre treartane som lever i tregrenseøkotonen, hovudsakleg bjørk (*Betula pubescens*), men furu (*Pinus sylvestris*) og gran (*Picea abies*) kan og vera dominerande i tregrenseøkotonen fleire plassar (Körner, 2012, s. 21; Moen, Cairns & Lafon, 2008).

I tregrenseøkotonen er trea i stor grad på tolegrensa med klimatiske forhold, og endringar i klima kan truleg medføra konsekvensar for utbreiinga av skogen (Holtmeier & Broll, 2005). Enkelte artar treng ein viss middeltemperatur i løpet av sommarmånadane for å kunna etablera seg og veksa. Fleire av artane som er til stades i tregrenseøkotonen lever på grensa av kva som er akseptabel temperatur (Körner, 2012). Ein meiner det hovudsakleg er temperatur som styrer endringar mellom artane i tregrenseøkotonen, men studiar har synt at konkurranse kan vera viktigare enn temperatur (t.d. Tingstad, Olsen, Klanderud, Vandvik & Ohlson, 2015). Det kan sjå ut som at krekling (*Empetrum nigrum*) har utvikla eigenskapar som kan gje den eit fortrinn i konkurranse med andre artar.

Allelopati er utslepp av kjemiske stoff frå ei plante eller ein plantedel som kan hemma vekst eller etableringa av ei anna plante (Inderjit, Wardle, Karban & Callaway, 2011). Dei kjemiske stoffa som plantene produserer er sekundære metabolittar¹. Dette er kjemiske forbindingar som ikkje er direkte nødvendige for plantevekst, utvikling eller reproduksjon (Inderjit et al., 2011), men kan ha ein påverknad på andre artar. Det kan difor vera vanskeleg å skilja sekundære metabolittar frå konkurranse. Artar som blir påverka av dei kjemiske forbindingane og som truleg kan slita med rekruttering er bjørk, furu, gran og osp (*Populus tremula*), (Zackrisson & Nilsson, 1989).

Krekling er ei eviggrøn planta som er lågtveksande (Bell & Tallis, 1973). Krekling toler frost og er å finna på rabbar og vindfulle område (Bell & Tallis, 1973). Krekling er vanleg i bjørk-, gran- og furuskog, fuktige kystområde, tregrenseøkotonen og heilt opp i dei alpine sonene (Bell & Tallis, 1973; Tybrik et al., 2000). Krekling kan truleg ha innverknad på andre planter si rekruttering og vekst (Nilsson & Zackrisson, 1992; Nilsson, Zackrisson, Sterner & Wallstedt, 2000; Nilsson, 1994; Bråthen, Fodstad & Gallet, 2010). Krekling er ofte unngått av reinsdyr (*Rangifer tarandus*) og truleg andre beitedyr, grunna låg beiteverdi (Tybrik et al., 2000; Iversen, Fauchald, Langeland, Ims, Yoccoz, & Bråthen, 2014; Bråthen, Gonzalez & Yoccoz, 2018). Bæra blir etne av ryper (*Lagopus lagopus*) og anna skogsfugl. Reduksjonen i beiting grunna den låge beiteverdien kan ha ei ein positiv innverknad på rekrutteringa til trea. Truleg fordi dei få trea som greier å etablera seg i slike område vil få stå i fred (Tybrik et al., 2000). Truleg kan

¹Sekundære metabolitt er kjemiske forbindingar som medverkar til plantene si vekst og utvikling, men er mindre viktige enn dei primære metabolittane.

kekling kunne dominera større område som vil gjer det vanskeleg for andre planter å etablere seg i område med kekling (Nilsson et al., 2000).

I denne oppgåva studerer eg vegetasjonen for å finna ut om ulike artar, kekling spesielt, påverkar etablering, vekst og mortalitet hjå trea i tregrenseøkotonen. Endringane i tregrenseøkotonen er komplekse og det er difor interessant å få kartlagt korleis vegetasjonen påverkar desse endringane.

På bakgrunn av dette har eg følgende problemstilling og hypotesar:

Problemstilling:

Kan kekling og annan vegetasjon påverka rekruttering og mortalitet til trea i tregrenseøkotonen?

Hypotesar:

1. Tregrensa er i endring, det blir fleire tre i tregrenseøkotonen.
2. Tal artar blir færre dess meir kekling.
3. Mortaliteten til trea blir påverka av vegetasjonen i tregrenseøkotonen, kekling har ein negativ påverknad på mortaliteten.
4. Rekrutteringa til trea blir påverka av vegetasjonen i tregrenseøkotonen, kekling har ein negativ påverknad på rekruttering.

2 Material og metode

2.1 Bakgrunn

Denne masteroppgåva er gjennomført som ein del av eit pågåande forskingsprosjekt ved Norges miljø- og biovitenskaplege universitet [NMBU], finansiert av Norges forskningsråd. Hovudproblemstillinga i forskingsprosjektet, som har namnet ForestPotential, er å gjera analysar knytt til effektane av endringar i klima og arealbruk på skogens utbreiing og produktivitet, samt korleis dette vil påverka moglegheitene for tømmerproduksjon og karbonbinding. ForestPotential har ei tidsramme på fire år (2018-2021), og bygger delvis på data som er samla inn i samband med andre NMBU-prosjekt som var operative i perioden 2006-2015. ForestPotential prosjektet prøver å svara på fleire av problemstillingane med tidsseriar av klima, registreringar av tre, kartlegging av vegetasjon i tregrenseøkotonen, data frå flyboren laser skanning [FLS], og bilete med multi-spektral informasjon. Det har blitt etablert eit 1500 km langt og 200 meter breitt transekt som er dekt av punktdata frå FLS, og som går frå Agder til Troms. Transektet passerer område som ligg i tregrenseområdet, og innanfor dette transektet vart det etablert 36 lokalitetar der ein i 2008 og 2012 gjorde treregistreringar. I 2018 vart det på nytt gjort treregistreringar, i tillegg til at det vart gjort registreringar av vegetasjonen. Det er desse vegetasjonsregistreringane og treregistreringane som er grunnlag for denne oppgåva.

2.2 Studieområde

Den nordlegaste lokaliteten er i Senja i Troms, og den sørlegaste i Veggli på grensa mellom Buskerud og Telemark. Lokalitetane ligg i tregrenseøkotonen, i overgangen mellom skog og alpin sone. I 2018 vart det gjort registreringar av både tre og vegetasjon i dei same lokalitetane. Feltarbeidet vart gjennomført i periodane 2.-15.juli, 6.-16. august og 4.-12. september. Hellingsgraden på lokalitetane varierte frå flatt til bratt ur. Vegetasjonen var stort sett lik, men varierte i dekke (krekling, blåbær (*Vaccinium myrtillus*), blokkebær (*Vaccinium uliginosum*), dvergbjørk (*Betula nana*), røsslyng (*Calluna vulgaris*), smyle (*Avnella flexuosa*), starr (*Cyperaceae*), mosar og lav), men nokre plassar var det meir kalkrikt og dermed innslag av meir kalkkrevjande artar.

2.3 Registrering av tre på lokalitetane

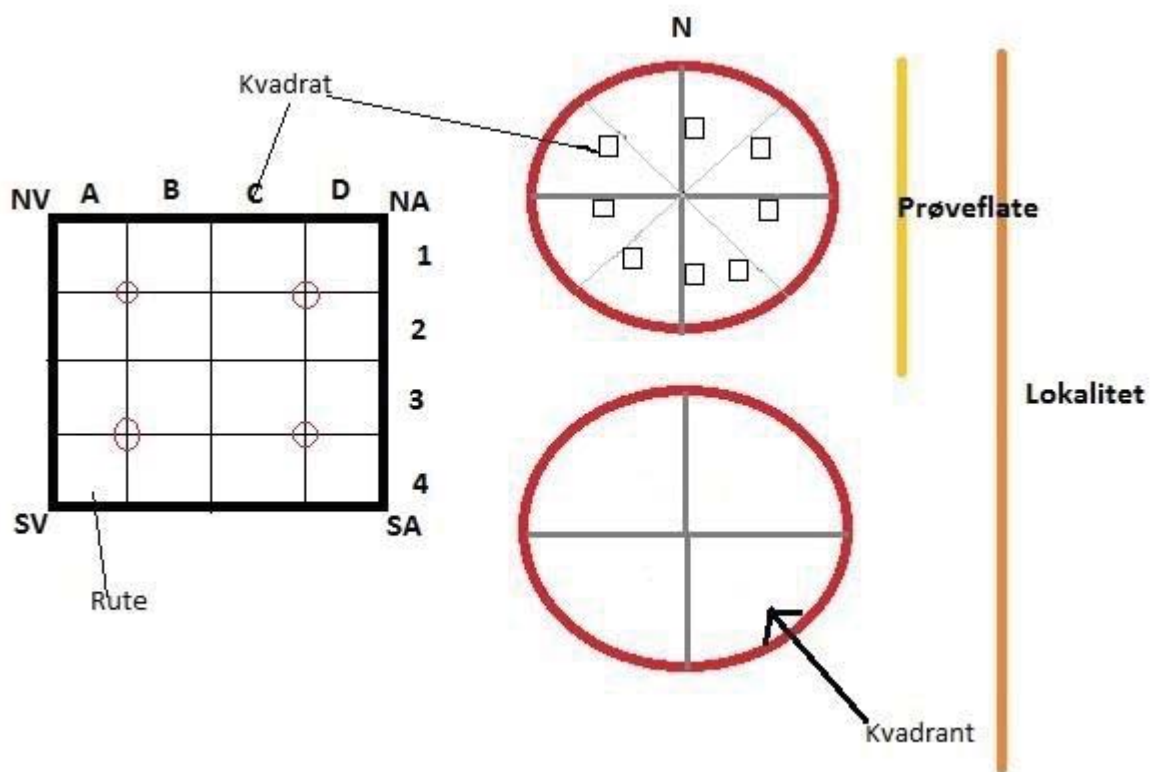
På kvar lokalitet vart det lagt ut to til fire sirkelrunde prøveflater med ein radius på 25 meter. Prøveflatene vart lagt inntil kvarandre slik at dei danna ei rekke frå overgangen frå skoggrensa til det trelause området i den alpine delen (Figur 1). Variasjon i tal prøveflater er avhengig av korleis tregrensa strekker seg på den aktuelle lokaliteten. Ein vil få dekt opp mest mogleg av tregrensa sin variasjon på lokaliteten. Avstanden frå sentrum på ei prøveflate til sentrum neste var frå 50 til 150 meter, avhengig av hellingsgraden på terrenget. Sentrum av kvar prøveflate vart målt inn med posisjoneringsutstyr (GPS/GLONASS) med centimeter nøyaktigheit.

I kvar prøveflate med utgangspunkt i prøveflatesentrum vart det gjort eit utval av tre ved hjelp av point centered quarter method [PCQ]. PCQ er en samplingsmetode for å estimera tettleik (Cottam & Curtis, 1956), der ein ut frå eit prøveflatesentrum vel det næraste treet i kvar av fire kvadrantar som blir avgrensa av rette linjer gjennom punktet i kvar av hovudretningane (Figur 1). PCQ samplinga som vart utført her, stoppa ved 25 meter frå sentrum (Warde & Petranks, 1981). Det vart valt tre i tre høgdeklassar innafor kvar kvadrant (klasse 1 = 0-0.99 meter, klasse 2 = 1-1.99 meter og klasse 3 = ≥ 2 meter). Det vart registrert maksimalt fire tre per prøveflate i kvar høgdeklasse, og maksimalt 12 tre på kvar prøveflate. Grunna at utvalet var avgrensa til 25 meter frå prøveflatesentrum kunne fleire av kvadrantane mangle tre for dei ulike høgdeklassane eller vera heilt tomme.

Dei trea som vart registrert var bjørk, gran og furu, men det var og innslag av rogn (*Sorbus aucuparia*) og osp (*Populus tremula*). For kvart nye tre vart det målt høgde på treet i centimeter og kronediameter i nord-sør og aust-vest linje i centimeter og diameter på stammen ved rothals i millimeter. Dei trea som vart registrert i 2008 og 2012 vart målt på nytt. Desse registreringane består av re-måling av høgde og diameter på dei tidlegare registrerte trea, samt registrering av daude tre. Det vart ikkje gjort fleire målingar på dei daude trea. Alle trea som var på prøveflatene vart registrert med GPS med +/- to cm nøyaktigheit, fordi ein skal kunna finna dei igjen med høg nøyaktigheit.

2.4 Vegetasjonsregistreringar

På prøveflatene vart det i 2018 gjort vegetasjonsregistreringar av vegetasjonsdekket. I kvar av prøveflatene la me ut åtte kvadrat (1*1 meter) som er fordelt på nord, nordaust, aust, søraust, sør, sørvest, vest, nordvest, til saman 912 kvadrat i 114 prøveflater (Figur 1). Kvart kvadrat består av 16 ruter, som er delt i rader (1-4) og kolonnar (A-D) (Figur 1), dette fordi det skulle vera lettare å registrere dekninga av vegetasjonen. Alle kvadrata vart lagt ut slik at linjene (1-4) orienterte vest-aust og dermed slik at kolonnane (A-D) orienterte i nord-sør retning. Kvadratet vart lagt ut ni meter frå senterpunktet av prøveflata, fordi dei tidlegare registrerte trea si avstand frå sentrum var på gjennomsnittet ni meter frå sentrum.



Figur 1. Illustrasjon av studiedesign. Lokalitet er heile området. Dei to store raude sirklane er to prøveflater etter kvarandre i nord-sør retning. Inne i ein prøveflate er det fire kvadrantar. Det er åtte kvadrat i kvar prøveflate. Eit slikt kvadrat inneheld 16 ruter. Dei tynne raude sirklane inne i kvadratet indikerer punkta der jorddjupmål og vegetasjonshøgdemål vart tatt.

I kvar av desse 8 kvadrata anslo me prosent dekningsgrad av dei ulike vegetasjonsgruppene innanfor kvadratet, før me skreiv ei liste over alle artane som vart identifisert. Det vart registrert over 20 variablar; dekke av krekling, eviggrøne lyngartar, urter, lauvfellande lyngartar, graminider, røsslyng, bjørk, furu, gran, andre tre, busker, strø, torvmose, mose, lav, stein, skorpelav og jord, i tillegg kjem vegetasjonshøgde og jorddjup. Det vart målt jorddjup ved hjelp av ein målestav som var omtrentleg 80 cm lang. Måla vart tatt i kryssingspunktet

mellom den yste og inste rute i kvadratet (sjå raud sirkel i Figur 1). Høgdemål av vegetasjon vart tatt med ein meterstokk. Det vart ført dato og namn på kven av oss som registrerte kvadratet. Vidare vart det tatt bilde av kvadratet og logga på GPS punkta for det nordvestlege hjørnet og søraustlege hjørnet på kvadratet.

2.5 Utrekningar av responsvariablar

2.5.1 Mortalitet

Mortalitet er i denne oppgåva rekna ut som kor mange av dei opphavlege trea frå 2008 som har døydd innan måletidspunktet i 2018, relativt til totalt tal tre i 2008. Trea som ikkje hadde grøne blader eller grøne nåler vart klassifisert som daude.

$$\text{Relativ mortalitet} = \frac{\text{Tal daude tre i 2018, opprinneleg registert i 2008}}{\text{Totalt tal tre registert i 2008}}$$

2.5.2 Rekruttering

Rekruttering vart rekna ut som endringa i tal tre mellom 2008 og 2018, justert for den relative mortaliteten over perioden. Det er ein del usikkerheit til dette estimatet. Ved PCQ-utveljinga av tre er det mogleg å rekne ut eit forventningsrett estimat på sjølve endringa i tal tre, men det er vanskeleg å skilje dei ulike endringskomponentane frå kvarandre. For å oppnå eit forventningsrett estimat på rekrutteringa, skulle ein ha registrert den næraste rekrutten i kvar kvadrant, men dette vart ikkje gjort. Mitt estimat på rekruttering er difor omtrentleg, men truleg godt nok for formålet, då det er variasjonen i rekruttering som er av størst interesse. Vidare når eg nyttar omgrepet rekruttering er det endring i tal tre/ha eg refererer til. Dei fleste trea som er registrert er pionertre.

Endring i tal tre/ha vart estimert ved å bruka to likningar. Fyrst vart tal tre på hektarnivå estimert. Gjennomsnittleg radius (avstand til sentrum) kvadrert under brøkstreken, med ein som dividend, blir multiplisert med korreksjonsfaktor (CF) for tomme kvadrantar for å få eit estimat på tal tre/m²(A) (1). Vidare blir det multiplisert med 10 000 for å finne tal tre/ha.

Endring i tal tre/ha vart rekna ut som forskjellen mellom det estimerte tal tre/ha for 2008 og 2018 pluss et tillegg for å kompensera for daude tre i form av den relative mortalitetsprosenten (2). Fordi nokre tal var under null, og fordi eg opererte med negativ bionomiell modell, så la eg til 1000 for å berre ha positive tal med vidare i modellane.

$$Tal\ tre/ha = \frac{1}{\bar{r}_2} * CF * 10\ 000 \quad (1)$$

$$Endring\ tal\ tre/ha = Tal\ tre/ha\ 2018 + tal\ tre/ha\ 2008 * \left(\frac{Daude\ tre\ 2018}{Tal\ tre/ha\ 2008}\right) - Tal\ tre/ha\ 2008 \quad (2)$$

2.6 Statistiske analysar

2.6.1 Utveljing av forklaringsvariablar

Målet er å finna dei variablane som forklarar responsvariablane; mortalitet og rekruttering. Når ein registrerer fleire eigenskapar på eit avgrensa område slik som mine vegetasjonskvadrat, vil mange av eigenskapane vera innbyrdes korrelerte, dette blir kalla kollinearitet. Dersom kolineære variablar blir nytta som forklaringsvariablar i ein modell kan resultat bli villeiande (Montgomery, Peck & Vining, 2013). Difor var det nødvendig å starta med ei variabelutveljing.

Eg la alle variablane eg hadde i datasettet inn i korrelasjonsmatrise og utførte korrelasjonstestar (Vedlegg 1). Eg valde vekk variablar med korrelasjonskoeffisient > 0.7 . Utrekninga av estimert endring i tal tre gjorde at eg berre kunne bruke lokalitetsnivå og dermed gjorde eg korrelasjonsmatrise på det nivået. På grunnlag av korrelasjonsmatrisene valde eg å gå vidare med eit utal av variablar, for vidare modellering.

2.6.2 Deskriptiv statistikk

Tabell 1 syner gjennomsnittstala til variablane som vart med i modellane. Dette for å syna dei faktiske gjennomsnittsverdiane og spreing i dekke i kvadrata.

Tabell 1. Gjennomsnittstal for lokalitetane. Tal tre er gjennomsnittlege estimerte tal tre.

Variablar	Gj.snitt	Min	Median	Max
Mortalitet (%)	10,2	0,0	0,1	0,4
Estimert endring i tal tre/ha	160	-57	65	866
Krekling (%)	11,8	0,0	6,0	94,0
Vegetasjonshøgde (cm)	7,01	0,0	5,8	49,3
Jorddjup (cm)	19,4	0,0	17,9	78,0
Røsslyng (%)	2,1	0,0	0,0	50,0
Bjørk (%)	1,7	0,0	0,0	100
Graminider (%)	8,35	0,0	2,0	100
Furu (%)	0,022	0,0	0,0	15,0
Lauvfellande lyng (%)	5,50	0,0	3,0	75,0
Lav (%)	7,8	0,0	1,5	93,0

2.6.3 Modellering

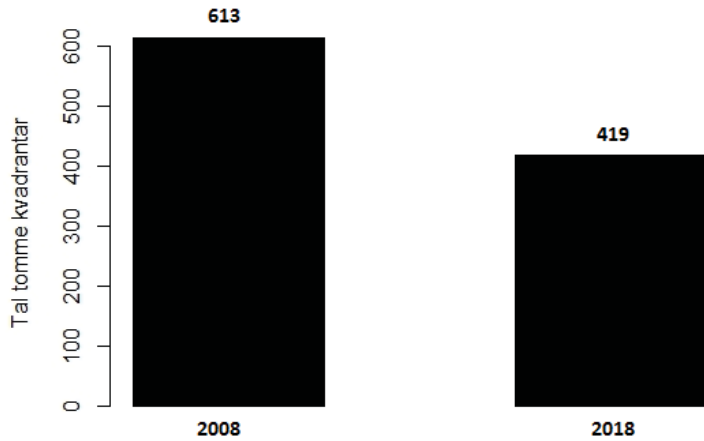
For å sjå om eg fant samanheng mellom vegetasjon og endring i tal tre, valde eg å gjera statistisk modellering. Eg brukte R studio version 3.5 (R Core Team, 2018). For å sjå samanhengen mellom krekling og tal artar køyrde eg ein lineær modell for å sjå om eg fann den samanhengen eg forventa.

For å analysa samanhengen mellom dei utvalde miljøvariablane og mortalitet og rekruttering brukte eg generaliserte lineære modellar (GLM). Mortalitet vart modellert med Gaussisk fordeling fordi eg antok at denne responsvariabelen var tilnærma normalfordelt. For rekruttering, som er ein diskret variabel, vart GLM med negativ binomisk fordeling valt på grunn av overdispersjon i data. Overdispersjon betyr at variansen til responsvariabelen er uvanleg stor (Montgomery et al., 2013). For å finna den beste modellen vart funksjonen *step* brukt. Modellseleksjon av *step* baserer seg på Akaike's Information Criterion (AIC), der den modellen med lågast AIC blir presentert som den beste modellen.

For å sjå påverkinga kreking hadde, vart det konstruert modellar både med og utan kreking. I dei tilfella der den optimale modellen ikkje hadde kreking som forklaringsvariabel, vart denne lagt til i ettertid for å studere effekten av kreking. Vidare er modellen med nest lågast AIC også presentert for å illustrere avstanden mellom dei ulike modellane.

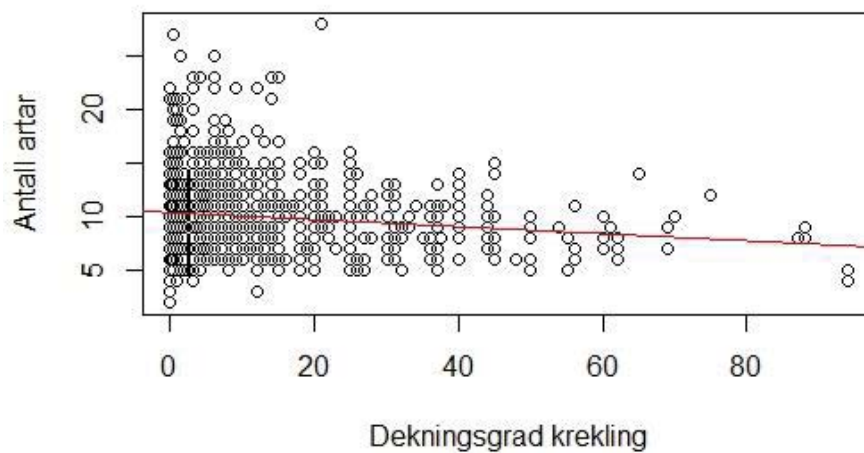
3 Resultat

I 2008 vart det registrert 613 kvadrantar utan tre. I 2018 vart det registrert 419 kvadrantar utan tre (Figur 2). Det har altså blitt færre kvadrantar utan tre.



Figur 2. Tal tomme kvadrantar i 2008 og 2018.

Det var ein signifikant lineær negativ samanheng ($p < 0.01$) mellom dekninga av krekling og totalt tal artar som har blitt registrert i kvadrantane i prøveflatene (Figur 3). Når dekning av krekling auka vart det færre artar i kvadrantane.



Figur 3. Signifikant samanheng mellom total tal artar og dekke av krekling.

3.1 Mortalitet

Modell M1 var den av mortalitetsmodellane som hadde den lågaste AIC (Tabell 2), og i den modellen var alle variablane signifikante. For både modell M1 og M2 hadde krekling ein signifikant negativ påverknad på mortalitet (Tabell 2). Når kreklingvariabelen vart fjerna i M3 auka AIC betrakteleg. Modell M3 hadde færrest variablar, men hadde AIC som var 12,87 større og variabelen dekning av furu var ikkje signifikant lenger. Modell M1 syner at med meir krekling, var det relativt færre tre som døydde. I dei områda der det var meir bjørk var det færre tre som døydde, men det var fleire tre som døydde der det var meir lauvfellande lyngartar og der jorda var djupare.

Tabell 2. Mortalitet på lokalitetsnivå modellert som GLM. Δ AIC syner forskjellen i AIC samanlikna med den modellen med lågast AIC.

	Modell M1	Modell M2 (nest beste)	Modell M3 (utan krekling)
	Estimat		
Intercept	0,181 ±0,048^{***}	0,165 ±0,059^{**}	0,084 ±0,050
Dekke av krekling	- 0,009 ±0,002^{***}	- 0,009 ±0,002^{***}	
Dekke av furu	- 0,440 ±0,195[*]	- 0,451 ±0,198[*]	- 0,330 ±0,233
Tal bjørk	- 0,006 ±0,001^{***}	- 0,005 ±0,001^{***}	- 0,005 ±0,001^{**}
Dekke av lauvfellande lyng	0,020 ±0,005^{***}	0,020 ±0,005^{***}	0,006 ±0,004
Jorddjup	0,003 ±0,001[*]	0,003 ±0,001[*]	0,004 ±0,001[*]
Dekke av lav		0,0007 ±0,001	
Δ AIC	0	1,702	12,87

Feit skrift betyr at det er signifikant, stjernene forklarar i kor stor grad: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3.2 Rekruttering

Modell R1 var den modellen med lågast AIC (Tabell 3). Det var nesten ikkje forskjell på AIC mellom Modell R1 og R2, høvesvis med og utan krekling som forklaringsvariabel. Krekling var ikkje signifikant i modell R2. Røsslyng, vegetasjonshøgde og tal furu hadde ein negativ påverknad på rekrutteringa. Dekke av bjørk og dekke av graminider hadde ein positiv påverknad på rekrutteringa av trea.

Tabell 3. Rekruttering på lokalitet modellert som GLM med negativ binomisk fordeling. Δ AIC syner forskjellen i AIC samanlikna med den modellen med lågast AIC.

	Modell R1 (Beste modell utan krekling)	Modell R2 (Beste modell med krekling)
		Estimat
Intercept	7,091 ±0,085^{***}	7,179 ±0,105^{***}
Dekke av krekling		- 0,005 ± 0,004
Dekke av røsslyng	- 0,027 ±0,011[*]	- 0,029 ± 0,011^{**}
Vegetasjonshøgde	- 0,024 ±0,011[*]	- 0,026 ± 0,011[*]
Dekke av bjørk	0,036 ±0,009^{***}	0,038 ± 0,009^{***}
Dekke av graminid	0,011 ±0,004^{**}	0,009 ± 0,004[*]
Tal furu	- 0,015 ± 0,007[*]	- 0,015 ±0,006[*]
Δ AIC	0	0,22

Feit skrift betyr at det er signifikant, stjernene forklarar i kor stor grad: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

4 Diskusjon

I 2018 var fleire av kvadrantane registrert med tre enn utan, samanlikna med 2008 (Figur 2). Dette tyder på at det blir fleire tre i tregrenseøkotonen. Dette stemmer med overvekta av studiane i litteratursamanstillinga til Harsch et al. (2009) og med litteratursamanstillinga til Bryn & Potthoff (2018) der dei fleste studiane synte ei auke, men også ein del variasjon. Problema med å studera endringane i tregrenseøkotonen er at det blir brukt ulike metodar og ikkje alle metodane er like godt skildra, slik at det å etterprøva resultata ikkje er enkelt. Det er òg fleire av studiane i litteratursamanstillingane som ikkje ser noko endring. Dette kan vera grunna tregrenseøkotonen sin kompleksitet. Kunnskapen om kva som eigentleg driv endringane i tregrenseøkotonen og samspelet mellom faktorane som driv endringane er noko avgrensa, då det er vanskeleg å seie kva den faktiske rolla til dei ulike faktorane er (Moen et al., 2008). Det er blitt gjort lite forskning på korleis omkringliggende vegetasjon påverkar trea. Likevel veit

ein at planter kan påverka etablering av tre i tregrenseøkotonen, gjennom konkurranse og allelopati (Moen et al., 2008), men og fasilitering (Tingstad et al., 2015).

4.1 Tal artar og krekling

Det var ein signifikant negativ samanheng mellom tal artar og krekling (Figur 3.). Hypotese 2 vart støtta av mitt resultat, dess større dekke av krekling, dess færre andre artar. Krekling dekker ofte store område i terrenget (Bråthen et al., 2018) og har truleg allelopatiske eigenskapar som gjer den sterkare i konkurransen med andre i områder der artsrikdomen ikkje er stor (Wardle, Nilsson, Gallet, & Zackrisson, 1998). Det var eit gjennomsnittleg tal på artar i kvadrata på omtrentleg 10, noko som er lågt og kan samsvara med andre studier (Wardle et al., 1998). Dette kan kanskje gjera det vanskelegare for andre artar å etablere seg der det er krekling i tregrenseøkotonen. Fleire studiar syner at krekling har ein negativ effekt på andre artar og tre (Zackrisson & Nilsson, 1989; Nilsson & Zackrisson, 1992; Nilsson, 1994; Nilsson et al., 2000; Bråthen et al., 2010), men det er òg studiar som syner at det er usikkert om krekling har slike kjemiske bindingar (Gonzalez et al., 2015; Michelsen et al., 1995).

4.2 Mortalitet

Resultata mine syner at krekling hadde ein positiv påverknad på overlevinga til trea (Tabell 2). Dette er ei motsetning av hypotesen min, men likevel ikkje eit heilt uventa resultat. Krekling har låg beiteverdi (Tybrik et al., 2000), og det har det synt seg at områda der krekling er dominerande ofte blir unngått av beitedyr (Iversen et al., 2014). Dei trea som klarar å vekse opp i område med høg del krekling, har dermed truleg hatt mindre konkurranse frå andre tre og unngått å bli eten av beitedyr. Dette kan vera noko av årsaka til kvifor krekling har ein positiv påverknad på overlevinga til trea. Dersom beitedyr vel å søkja over slike område er eit lite tre lett å søkja ut og eta. Likevel kan det vera at krekling fungerer som ei form for beskyttelse for trea som klarer å etablere seg i område med krekling.

Dekke av furu og tal bjørk hadde ein positiv påverknad på overlevinga til trea i dei to modellane med krekling (Tabell 2). Noko som truleg heng saman med at dei trea som er registrert er m.a. furu og bjørk, det er difor ikkje rart at dekning av furutre er positivt for eit anna furutre. Det same gjeld for tal bjørketre. Då er forholda på lokaliteten slik at trea trivst og næringsforholda er gode. Det er verdt å nemna at det er registrert lite på variabelen dekke

furu, den er berre til stades på 9 av dei 912 registrerte kvadrata. Estimatet for furu er nesten 20 gonger større enn nest største koeffisient (Tabell 2). At furu får eit signifikant utslag her, kan henga saman med mangelen på inndata i datasettet og gjer at det ikkje nødvendigvis er ein økologisk samanheng, men meir det at modellen ikkje tek omsyn til dei få registreringane. Eit døme er variabelen vegetasjonshøgde mange målepunkt (>3600) i forhold til furu, og dermed er det mindre sikkert at variabelen furu er representativ på same måte som vegetasjonshøgde.

Djupare jord var negativt for overlevinga til trea (Tabell 2). Dette er eit litt overraskande resultat. Eit tre som skal bli stort, treng jord der eit rotsystem kan ta plass. Skrin jord tørkar fortare ut, slik at det er større risiko for at treet døyr, difor skulle ein tru at djup jord var positivt for overlevinga til trea. Samanhengen kan vera at der det er djupare jord, er jorda meir næringsrik og fuktig, dette kan gje ein annan og meir næringskrevjande samansetning av vegetasjon, som vil gje meir biomasse og kanskje høgare vegetasjon, som igjen kan konkurrera ut dei minste trea i tilgangen på lys, vatn og næring.

Lauvfellande lyngartar var negativt for overlevinga til trea (Tabell 2). Ein mogleg forklaring kan vera at lauvfellande lyngartar har eit konkurransefortrinn sidan dei kan stenga for lystilgangen til dei minste trea. Eit tett lyngdekke vil truleg gje lite lys for ei treplante som har etablert seg. To studiar ser på at blåbær og blokkebær kanskje kan ha allelopatiske eigenskapar, som påverkar rekruttering sjølv om resultatane var noko svake i desse studiane (Dufor-Tremblay, De Vriendt, Levesque & Boudreau, 2012; Jaderlund, Zackrisson & Nilsson, 1996). Dersom desse artane har allelopatiske eigenskapar kan dette kanskje forklare den negative påverknaden lyngartane har på overlevinga til trea. Ein annan mogleg forklaring er at blokkebær og blåbær er meir attraktive beiteplanter og dermed vil beitetrykket på treplantene òg auka i områder der desse artane er utbreidd.

4.3 Rekruttering

Krekling hadde inga innverknad på rekruttering (Tabell 3), og mi hypotese om at krekling har ein negativ påverknad på rekrutteringa vart ikkje støtta av resultatane mine. I Zackrisson & Nilsson (1989) meiner dei at det er rekruttering av bjørk, gran og furu som i størst grad blir påverka av krekling sine allelopatiske eigenskapar. Det var difor overraskande at krekling ikkje fekk utslag på rekrutteringa. Andre studiar har hatt eit dekke på krekling på rundt 80 %

prosent (Nilsson et al., 2000), og fann negativ påverknad på andre planter. I studien til Bråthen et al., (2018) var krekling til stades i 1230 av dei 1450 utvalde områda. I min studie var gjennomsnittleg dekke av krekling på lokalitetane på 11.8 % (Tabell 1). Dette kan vera årsaka til at eg ikkje fekk utslag her, sjølv om me hadde stor variasjon i mengd krekling i kvadrata. Eg har jobba med gjennomsnittstal for modellering på lokalitetane. Dersom eg hadde gått inn på kvar enkelt kvadrat, som er meir detaljert, er det mogleg eg hadde funne ein signifikant påverknad på rekrutteringa, men dette vart ikkje gjort.

Tal bjørk og dekke av graminider hadde ein positiv påverknad på rekrutteringa til trea (Tabell 3). At tal bjørk var positivt, samsvarar med at det også var positivt for overlevinga til trea, at eit bjørketre er positivt for ei anna bjørk. Det er mogleg at eit stort bjørketre kan gje beskyttelse til andre tre, truleg går beitedyr på dei større trea i staden for å søkja på bakken etter mindre tre og bruke energi på det, såkalla optimal furasjering. Der det veks mykje graminider i tregrenseøkotonen, er jorda ofte næringsrik og fuktig. Fuktig og næringsrik jord er positivt for trea, særleg bjørka. Graminider kan gje beskyttelse og kan vera meir interessant som fôr for beitedyr, og difor trea får truleg trea stå i fred, graminider toler beiting i motsetning til tre.

Vegetasjonshøgde hadde ein negativ påverknad på rekrutteringa til trea (Tabell 3). Høg vegetasjon kan bety større masse av vegetasjon, og gje mindre lys til andre planter som vil veksa. Tett og høg vegetasjon har synt seg negativt for frø (Angers-Blondin, Myers-Smith & Boudrea, 2018) og eit frø vil få problem med å kome til bar jord. Det vil vera vanskeleg å konkurrera ut andre artar i tett vegetasjon og slik vegetasjon har synt seg å vera ein avgrensande faktor for rekruttering av tre (Tingstad et al., 2015; Imbeck & Ott, 1987; Ott, Lüscher, Frehner & Brang, 1991). Dersom ein har dårleg lystilgang vil ein truleg investera meir i å veksa, men dette kan gå ut over tjukkeleiken og stabiliteten til planta (Norgreen, 1996). Planter som greier å bli store fort og dermed ta større del av lyset har eit konkurransefortrinn. Studie har synt at konkurranse frå allereie etablert vegetasjon rundt har påverka rekrutteringa (Eskelinen & Virtanen 2005). Dette kan vera noko av årsaka til at vegetasjonshøgde hadde ein negativ påverknad på rekrutteringa. Konkurranse i plantesamfunn er ein viktig regulator for artssamansetninga. Det er mogleg at det er ein interaksjon mellom jorddjupn og vegetasjonshøgde. Dette kan henga saman med at jorddjupn gjev høgare mortalitet på trea, kombinasjon av at djupare jord gjev anna samansetning av artar og at høg vegetasjon stenge for rekruttering til trea.

Dekke av røsslyng hadde ein negativ påverknad på rekrutteringa til trea (Tabell 3). Røsslyng har lange kvistar som ofte strekker seg godt over botn. I botn blir det liggande eit tjukt lag med strø, som gjer at frø vil få problem med spiring, på grunn av mangel på tilgang til jord og lys. Røsslyng tar truleg lystilgangen til dei minste trea (Heil & Bobbink, 1993; Alonso & Hartley, 1998), og kan gjera det vanskeleg for trea å etablera seg. Dette minner om krekling sin biologi, sjølv om røsslyng ikkje har heilt dei same eigenskapane. Eit tjukt lag med strø vil redusera lys, noko som kan vera viktig for planter i startfasen. Strø kan fungera som ein fysisk barriere for frø (Facelli & Pickett, 1991). Det er truleg at det blir meir strø i framtida grunna klimaendringane, fordi røsslyng og andre planteartar får lengre vekstsesong og kan bli større og få større utbreiing (Elmendorf et al., 2012).

Tal furu hadde ein negativ påverknad på rekrutteringa. Det er registrert lite på variabelen tal furu, som står for omtrentleg 8 % av trea som er registrert men det er meir enn dekke av furu. Årsaka til den negative påverknaden på rekrutteringa kan vera at der det er furu er det tørt, og dermed eit habitat som gjer det vanskelegare for bjørk å etablera seg. Bjørk var hovudvekta av tre som vart registrert.

Det er mogleg at andre faktorar spelar ei større rolle for rekrutteringa til tre enn dei som har blitt undersøkt i denne studien. Speed, Austrheim, Hester & Mysterud (2011) ser at beitedyr kan vera ein avgrensande faktor for bjørka. Tregrenseøkotonen er eit godt område for beitedyr å opphalda seg då trea er i ein passende høgde til beiting. Ein annan studie syner til at opphøyr av beite gjev trea moglegheit til å vekse (Bryn, 2008), dette kan vera ein av årsakene til at ein får ei stigande tregrense i tregrenseøkotonen. Slik ein bruker tregrenseøkotonen i dag, eit landskapsområde som ein indikator på klimaendringane, kan vera ein misforstått måte å sjå på klimaendringane, då aktivitet frå beitedyr kan vera det som styrer endringane (Cairns & Moen, 2004). Det er store variasjonar og enkelte lokalitetar kan ha opptil fleire variablar som verkar sterkt inn på nokre områder. Truleg er endringane i tal tre ein kombinasjon av temperaturendringar, vegetasjonen og beitedyr.

Derimot er studien godt representativ for Noreg, då ein har 36 lokalitetar som er fordelt utover heile landet. Studien er og lett å etterprøva, tregregistreringane har alt blitt gjort tre gonger, og dette styrker kvaliteten i datasettet. Til seinare undersøkingar vil det vere interessant å få med fleire variablar, slik at ein kan fanga opp meir av variasjonen på ein lokalitet. Det er eit stort datasett som er grunnlag for oppgåva og det er ein faktisk endring på tal tre og hovudvekta av

variablane i modellane var signifikante, noko som gjer det interessant å halde fram med undersøkingar. Det kan til dømes vera interessant å sjå om ein kan finne ulikeheitlar innanfor same lokalitet.

4.4 Konklusjon

Eg fann ein negativ samanheng mellom tal artar og krekling, og at krekling hadde ein positiv påverknad på overlevinga til trea, men inga innverknad på rekrutteringa. Dermed stemte ikkje hypotesane mine om at krekling skulle ha ein negativ påverknad på overlevinga til trea. Årsaka kan vera at gjennomsnittleg kreklingdekke på lokalitetane var lågt, samanlikna med andre studiar. Eg fant derimot at vegetasjonshøgde hadde ein negativ samanheng med rekruttering og at jorddjupn hadde ein negativ samanheng med overlevinga til trea. Røsslyng hadde ein negativ påverknad på rekrutteringa. Dette syner at vegetasjonen i tregrenseøkotonen kan ha innverknad på trea. Det har blitt lagt eit godt grunnlag for vidare studiar, som kan vera spanande og viktig å følgja opp i framtida, for å sjå om ein finn fleire samanhengar. Eit tre har ei levetid på omtrentleg 100 – 150 år, 11 år er kort tid på å finna ut kva som fører til endringar. Langtidsstudie er kanskje den beste måten å finna ut samanhengen på kva som påverkar tregrenseøkotonen. Dersom ein held fram med både tre- og vegetasjonsregistreringar vil ein få ein lang og grundig gjennomgang av korleis tregrenseøkotonen endrar seg i Noreg.

5 Referansar

- Alonso, I. & Hartley (1998) Effects of nutrient supply, light availability and herbivory on the growth of heather and three competing grass species. *Plant Ecology*, 137(2), 203-221.
- Angers-Blondin, S., Myers-Smith, I. H. & Boudrea, S. (2018). Plant–plant interactions could limit recruitment and range expansion of tall shrubs into alpine and Arctic tundra. *Polar Biology*, 41, 2211–221.
- Bell, J. N. B. & Tallis, J. H. (1973). Biological flora of the British-isles - *Empetrum nigrum* L. *Journal of Ecology*, 61(1), 289-305.
- Bryn, A. (2008). Recent forest limit changes in south-east Norway: Effects of climate change or regrowth after abandoned utilisation? *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 62(4), 251-270.
- Bryn, A. & Potthoff, K. (2018). Elevational treeline and forest line dynamics in Norwegian mountain areas – a review. *Landscape Ecol*, 33, 1225–1245.
- Bråthen, K.A., Fodstad, C.H. & Gallet, C. (2010). Ecosystem disturbance reduces the allelopathic effects of *Empetrum hermaphroditum* humus on tundra plants. *Journal of Vegetation Science* 21, 786–795.
- Bråthen, K.A., Gonzalez, V.T. & Yoccoz, N.G. (2018). Gatekeepers to the effects of climate warming? Niche construction restricts plant community changes along a temperature gradient. *Perspectives in Plant Ecoogy, Evolution and Systematics*, 30, 71-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2017.06.005>
- Cairns, D.M. & Moen, J. (2004). Herbivory influences tree lines. *Journal of ecology*, 92, 1019-1024.
- Cottam, G. & Curtis, J. T. (1956). The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology* 37(3), 451-460.
- Dalen, L. & Hofgaard, A. (2005). Differential Regional Treeline Dynamics in the Scandes Mountains. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37(3), 284-296.
- Dufor-Tremblay, G., De Vriendt, L., Levesque, E. & Boudreau, S. (2012). The importance of ecological constraints on the control of multi-species treeline dynamics in eastern Nunavik, Quebec. *American Journal of Botany*, 99(10), 1638–1646.

- Elmendorf, S.C., Henry, G.H.R., Hollister, R.D., Björk, R.G., Boulanger-Lapointe, N., Cooper, E.J., ... Wipf, S. (2012). Plot-scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming. *Nature Climate Change*, 2(6), 453-457.
- Eskelinen, A. & Virtanen, R. (2005). Local and regional processes in low-productive mountain plant communities: the roles of seed and microsite limitation in relation to grazing. *Oikos*, 110(2), 360-368.
- Facelli J. M. & Pickett, S. T. A. (1991). Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review*, 57(1), 1-32.
- Gonzalez, V.T., Junttila, O., Lindgård, B. Reiersen, R., Trost, K. & Bråthen, K.A. (2014). Batatasin-III and the allelopathic capacity of *Empetrum nigrum*. *Nordic Journal of Botany* 33, 225–231.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Lawrence, D., Mayer, S., ... Ådlandsvik, B. (2015). Klima i Norge 2100. M-406. Miljødirektoratet.
- Harsch, M.A., Hulme, P.E., McGlone, M.S. & Duncan, R.P. (2009). Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology Letters*, 12, 1040–1049.
- Heil, G. W. & Bobbink, R. (1993). “Calluna”, a simulation model for evaluation of impacts of atmospheric nitrogen deposition on dry heathlands. *Ecological Modelling*, 68, 161-182.
- Holtmeier, F-K. & Broll, G. (2005). Sensitivity and response of Northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography*, 14(5), 395-410.
- Imbeck, H. & Ott, E. (1987). Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung. *Mitt. Eidg. Inst. Schnee- u. Lawinenforschung*, 42, 202.
- Inderjit., Wardle, D.A., Karban, R. & Callaway, R.M. (2011). The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology and Evolution*. 26(12), 655-662. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.003>

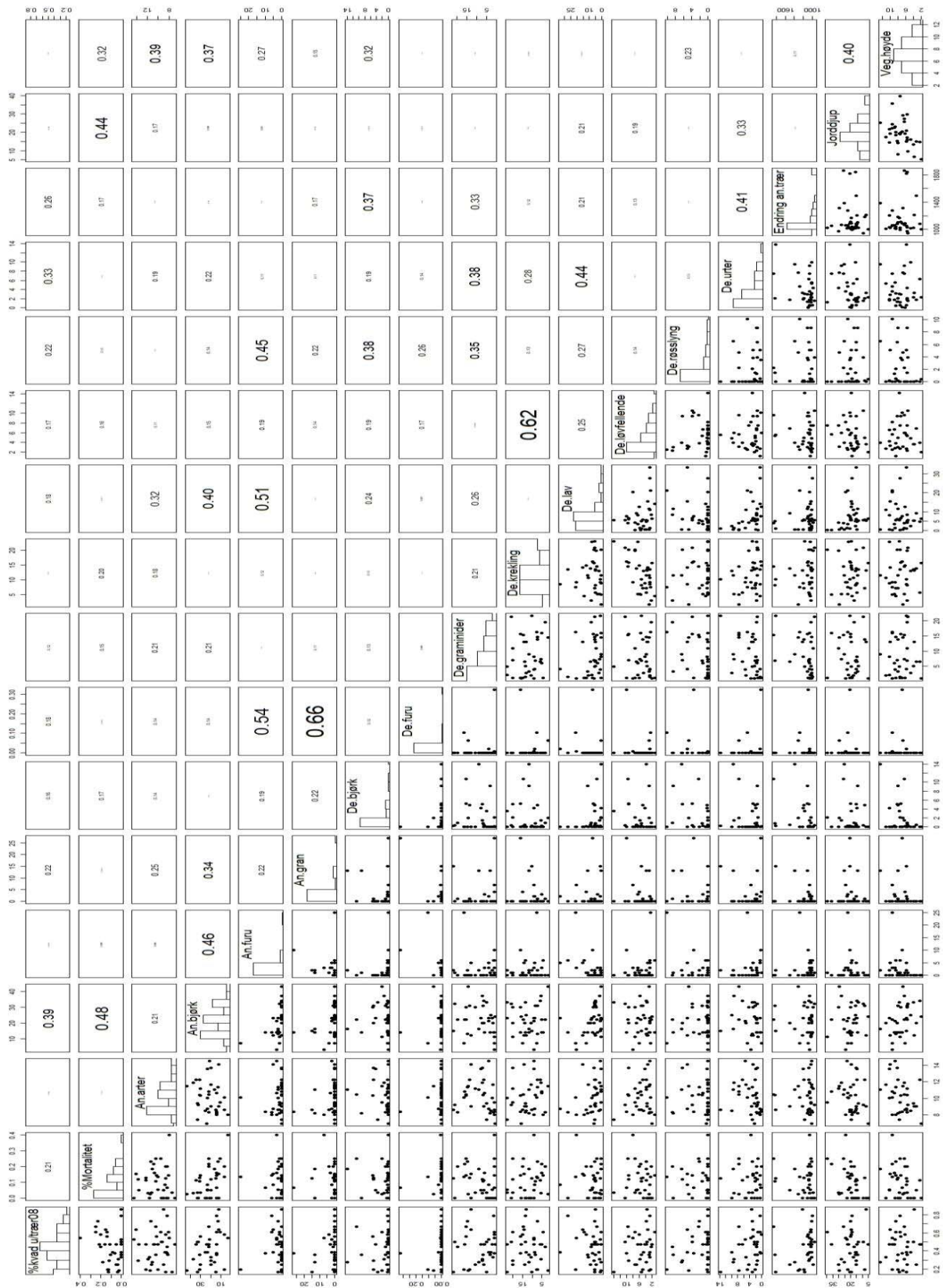
- IPCC. (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Henta frå https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf
- Iversen, M., Fauchald, P., Langeland, K., Ims, R.A., Yoccoz, N.G. & Bråthen., K.A. (2014). Phenology and Cover of Plant Growth Forms Predict Herbivore Habitat Selection in a High Latitude Ecosystem. *PLoS ONE* 9(6), 1-11.
- Jäderlund, A., Zackrisson, O. & Nilsson, M.-C. (1996). Effects of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) litter on seed germination and early seedling growth of four boreal tree species. *Journal of Chemical Ecology* 22, 973 – 986.
- Klanderud, K. & Birks, H. J. B. (2003). Nylige endringer i Jotunheimens flora – et resultat av klimaforandring? *Naturen*, 127(2), 62-70.
- Körner, C. & Paulsen, J. (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31, 713–732.
- Körner, C. (2012). *Alpine treelines - Functional ecology of the global high elevation tree limit*. Basel: Springer.
- Michelsen, A., Schmidt, I. K., Jonasson, S., Dighton, J., Jones, H. E. & Callaghan, T. (1995). Inhibition of growth, and effects on nutrient uptake of arctic graminoids by leaf extracts – allelopathy or resource competition? *Oecologia* 103, 407–418.
- Moen, J., Cairns, D.M. & Lafon, C.W. (2008). Factors structuring the treeline ecotone in Fennoscandia. *Plant Ecology & Diversity*, 1(1), 77-87.
- Montgomery, D. C., Peck, E. & Vining, G. (2013). *Introduction to Linear Regression Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Nilsson, M.-C. & Zackarisson, O. (1992). Inhibition of scots pine seedling establishment by *Empetrum hermaphroditum*. *Journal of Chemical Ecology*, 18(10), 1857-1870.
- Nilsson, M.-C. (1994). Separation of allelopathy and resource competition by the boreal dwarf shrub *Empetrum hermaphroditum* Hagerup. *Oecologia* 98, 1-7.

- Nilsson, M.-C., Gallet, C. & Wallstedt, A. (1998). Temporal variability of phenolics and batatasin-III in *Empetrum hermaphroditum* leaves over an eight-year period: interpretations of ecological function. *Oikos*, 81(1), 6-16.
- Nilsson, M.-C., Zackrisson, O., Sterner, O. & Wallstedt, A. (2000). Characterisation of the differential interference effects of two boreal dwarf shrub species. *Oecologia*, 123(1), 122-128.
- Norgren, O. (1996). Growth analysis of Scots pine and lodgepole pine seedlings. *For Ecol Manage* 86, 15–26.
- Ott, E., Lüscher, F., Frehner, M. & Brang, P. (1991). Verjüngungsökologische Besonderheiten im Gebirgsfichtenwald im Vergleich zur Bergwaldstufe. *Schweiz Z Forstwes* 142, 879–904.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Speed, J. D.M., Austrheim, G., Hester, A.J. & Mysterud, A. (2010). Experimental evidence for herbivore limitation of the treeline. *Ecology*, 91(1), 3414–3420.
- Speed, J. D.M., Austrheim, G., Hester, A.J. & Mysterud, A. (2011). Growth limitation of mountain birch caused by sheep browsing at the altitudinal treeline. *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1344-1352.
- Steinbauert, M.J., Grytnes, J.-A., Jurasinski, G., Kulonen, A., Lenoir, J., Pauli, H., ... Wipf, S. (2018). Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature*, 556, 231–234.
- Store norske leksikon. (2019). Tregrense. I Store Norske leksikon. Henta 11. april 2019 frå <https://snl.no/tregrense>
- Sundig, P. (2019). Skog. I Store norske leksikon. Henta 11. april 2019 frå <https://snl.no/skog>
- Tingstad, L, Olsen, S. L., Klanderud, K., Vandvik, V. & Ohlson, M. (2015). Temperature, precipitation and biotic interactions as determinants of tree seedling recruitment across the tree line ecotone. *Oecologia* 179, 599–608.

- Tybrik, K., Nilsson, M-C., Michelsen, A., Kristensen, H. L., Shevtsova, A., Strandberg, M. T., Johansson, M., Nielsen, K. E., ... Johnsen, I. (2000). Nordic Empetrum Dominated Ecosystems: Function and Susceptibility to Environmental Changes. *A Journal of the Human Environment*, 29(2), 90-97.
- Wardle, D., Nilsson, M-C., Gallet, C. & Zackrisson, O. (1998). An ecosystem-level perspective of allelopathy. *Biol. Rev.*, 73, 305–319.
- Warde, W. & Petranka, J. W. (1981). A Correction Factor Table for Missing Point-Center Quarter Data. *Ecology* 62(2), 491-494.
- Zackrisson, O. & Nilsson, M. C. (1989). Allelopati och dess betydelse på svårföryngrade skogsmarker – Skogsfakta. *Biologi och skogsskötsel*. 59, 1-6.

Vedlegg

Vedlegg 1. Korrelasjonsmatrisene eg kørte før utveljing av variablar.



Figur 4. Korrelasjonsmatrise for utveljing av variablar. De står for dekke og An står for antall.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway