

Vurdering av tilskuddsordning for gjødsling av skog

Rapport nr. 36/2021
10.12.2021



Miljø-
direktoratet



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI



Landbruksdirektoratet
Eanandoallodirektoráhtta

Rapport:	Vurdering av tilskuddsordning for gjødsling av skog
Avdeling:	Avdeling ressurs og areal / Landbruksdirektoratet
Dato:	10.12.2021
Ansvarlig:	Trond Svanøe-Hafstad, Landbruksdirektoratet
	Landbruksdirektoratet: Jon Andreas Ask, prosjektleder Baro Moslet, Torleif Terum, Fredrik Vaadal, Runa Stenhammer Aanerød
Bidragstypere:	Miljødirektoratet: Jakob Sandven, Jon Lasse Bratli, Odd Kristian Selboe, Sina Jenhaug Ringlund
	Norsk institutt for bioøkonomi: Gunnhild Søgaard, Kjersti Holt Hanssen
Rapport-nr.:	36/2021
Forsidebilde:	Petter Elden

Forord

I Klimaplanen (Meld. St. 13, 2020-2021) besluttet regjeringen å videreføre og eventuelt styrke eksisterende klimatiltak i skog, med det mål å øke CO₂-opptaket. Tilskudd til gjødsling av skog er et av disse tiltakene. Dette tiltaket ble utredet i 2014 (Rapport M174 – 2014, Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier) og det ble etablert en tilskuddsordning i 2016. Gjennom den nye klimameldingen går det fram at ordningen skal vurderes i 2021. Landbruks- og matdepartementet (LMD) og Klima- og miljødepartementet (KLD) har på bakgrunn av dette gitt oppdraget med evaluering av ordningen til Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO).

I oppdragsbrevet ble etatene bedt om å vurdere den geografiske avgrensningen av hensynssonen og det arealmessige taket, ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for miljø, og miljømål i vann, klima og næring. I tillegg ble etatene bedt om å vurdere om det er kommet ny forskning etter at tilskuddsordningen ble etablert som eventuelt burde få betydning for utformingen av ordningen.

Landbruksdirektoratet har hatt prosjektansvaret, mens ei arbeidsgruppe bestående av personer fra alle etatene har vært involvert i arbeidet. Det har også vært en styringsgruppe bestående av én person fra hver etat. Arbeidsgruppen har også innhentet innspill fra andre medarbeidere i etatene.

Desember, 2021

Geir Grønningsæter	Siri Sorteberg	Bjørn Håvard Evjen
Direktør	Avdelingsdirektør	Direktør
Avdeling ressurs og areal	Klimaavdelingen	Divisjon for skog og utmark
Landbruksdirektoratet	Miljødirektoratet	Norsk institutt for bioøkonomi

Innhold

Forord	3
Innhold	4
Sammendrag	6
1 Innledning	8
1.1 Bakgrunn.....	8
1.2 Oppdraget.....	8
1.3 Prosjektorganisering.....	9
1.4 Avgrensning av oppgaven og oppbygging av rapporten.....	9
2 Beskrivelse av tilskuddsordningen	11
2.1 Retningslinjer for tilskuddsordningen 2016-2020.....	11
2.2 Gjødsling av skog etter innføringen av tilskuddsordningen.....	13
2.2.1 Historisk utvikling i gjødslingsareal.....	13
2.2.2 Gjødselareal innenfor hensynssonen.....	17
2.3 Gjødslingsmetode og miljøhensyn.....	18
2.4 Oppsummering.....	18
3 Klima	19
3.1 Kort oppsummering av vurderingene i 2014.....	19
3.2 Ny kunnskap etter 2014.....	19
3.2.1 Gjødsling og skogproduksjon.....	19
3.2.2 Gjødsling og jordkarbon.....	20
3.2.3 Effekten på lystgass og metan.....	21
3.2.4 Substitusjon.....	22
3.2.5 Utslipp fra produksjon og transport.....	23
3.2.6 Oppsummering – samlet effekt.....	23
4 Vannmiljø og vurdering av hensynssonen	25
4.1 Kort oppsummering av anbefalinger fra 2014-rapporten.....	25
4.2 Ny kunnskap etter 2014.....	25
4.2.1 Oppdrag til NIVA og NIBIO.....	25
4.2.2 Gjødslet areal siden 2015 og vurdering av utlekking av nitrogen.....	25
4.2.3 Atmosfæriske avsetninger.....	26
4.2.4 Nasjonal vannovervåkning.....	26
4.2.5 Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen og overvåking av skogskader.....	26
4.2.6 Nitrogenstatus i sårbare ferskvannssystemer og kystvann.....	26
4.2.7 Ny kunnskap om avrenning fra skogsgjødsling.....	27
4.2.8 Oppsummering vannmiljø og hensynssone.....	27
5 Terrestrisk naturmangfold	29
5.1 Kort oppsummering av anbefalinger fra 2014.....	29
5.2 Ny kunnskap etter 2014.....	29
5.2.1 Fauna.....	29
5.2.2 Bakkelevende karplanter, moser og lav.....	29

5.2.3	Arter under bakken (sopp, bakterier, mikro- og makroorganismer)	30
5.2.4	Effekter på økologisk tilstand for skog.....	30
5.3	Vurdering av kunnskapsgrunnlaget	30
6	Konklusjon.....	32
7	Referanser	34
8	Vedlegg	37
8.1	Notat fra NINA/NIBIO	37
8.2	Referat workshop klima.....	53
8.3	Statistikk for perioden 2016-2020.....	72
8.4	Kommuner innenfor hensynssonen	75

Sammendrag

Bakgrunn

I Klimaplanen (Meld. St. 13, 2020-2021) besluttet regjeringen å videreføre og eventuelt styrke eksisterende klimatiltak i skog, med det mål å øke CO₂-opptaket. Tilskudd til gjødsling av skog er et av disse tiltakene. Dette tiltaket ble utredet i 2014 (Rapport M174-2014, Måltrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier) og det ble etablert en tilskuddsordning i 2016. Gjennom den nye klimameldingen går det fram at ordningen skal vurderes i 2021. Landbruks- og matdepartementet (LMD) og Klima- og miljødepartementet (KLD) har på bakgrunn av dette gitt oppdraget med evaluering av ordningen til Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO).

I oppdragsbrevet ble etatene bedt om å vurdere den geografiske avgrensningen av hensynssonen og det arealmessige taket, ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for miljø, og miljømål i vann, klima og næring. I tillegg skulle vi vurdere om det er kommet ny forskning etter at tilskuddsordningen ble etablert som eventuelt burde få betydning for utformingen av ordningen.

Klima

I arbeidet med å vurdere om det hadde kommet ny forskning på effekter av nitrogengjødsling i skog knyttet til klimaeffekten, ble det arrangert en workshop med forskere fra Norsk institutt for naturforskning (NINA), Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) og NIBIO. Konklusjonen fra workshopen var at det ikke er kommet noe ny kunnskap rundt gjødslingens effekter på klima som endrer konklusjonen i rapport M174-2014. Gjennomføres tiltaket i tråd med retningslinjene, vil økningen i stammetilveksten være ca. 1,5 m³ per dekar. Dette gir implisitt et høyere CO₂-opptak enn uten tiltaket, samt økt potensial for substitusjon (økt tømmervolum). I rapport M174-2014 ble det konkludert med at det var for stor usikkerhet til å kunne estimere nettoeffekten av gjødsling på karbondynamikken i jord. Basert på ny litteratur kan en nå i større grad konkludere med at det er en positiv effekt på karbondynamikken i jord, men at vi fortsatt ikke har kunnet kvantifisere dette.

Vannmiljø og hensynssone

Direktoratene bestilte en ekstern utredning fra Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og NIBIO, der de ble spurt om å sammenstille ny kunnskap om nitrogenpåvirkning innenfor hensynssonen, og om mulige effekter av nitrogengjødsling av skog. Denne fagrapporten er lagt til grunn for de vurderingene som er gjort. Det totale belastingsbildet for nitrogen innenfor hensynssonen er omtrent som det ble konkludert med i rapport M174-2014. Riktignok har man sett en negativ utvikling i Oslofjorden og Mjøsa, mens det i Rogaland og Agder har vært en svak positiv utvikling. Kunnskapsgrunnlaget om mulige effekter av skoggjødsling på overflatevann, med det gjødslingsregimet vi bruker i Norge, er fortsatt begrenset. Vi konkluderer med at det ikke er kommet ny forskning på vannmiljø som endrer konklusjonene fra rapport M174-2014. Hensynssonens geografiske utbredelse med et gjødslingstak på 25 000 dekar anbefales beholdt på samme nivå som i dag.

Terrestrisk naturmangfold

Direktoratene bestilte en ekstern utredning fra NINA og NIBIO, der de ble spurt om å sammenstille ny kunnskap om virkningen av skoggjødsling på terrestrisk naturmangfold. Fagrapporten omhandlet de tre temaene fauna, bakkelevende karplanter, moser og lav, og arter under bakken. Vi vurderer det som lite sannsynlig at gjødsling med dagens praksis og omfang vil gi vesentlige effekter for naturmangfold på landskapsnivå, noe som er i tråd med konklusjonen fra rapport M174-2014. Vi vurderer videre at skoggjødsling kan gi endringer i artssammensetning og -diversitet på bestandsnivå, men en engangs gjødsling vil sannsynligvis ha små og til dels reversible effekter.

Konklusjon

Det har ikke kommet ny forskning eller resultater fra overvåking som tilsier at konklusjonene fra rapport M174-2014 bør endres, hverken med hensyn på den geografiske avgrensningen av hensynssonen med

arealmessig tak, eller de øvrige retningslinjene som gjelder for tiltaket. Tilskuddsordningen har hatt en ønsket effekt da gjødslingsaktiviteten har tatt seg opp etter tilskuddsordningen trådte i kraft. Etatene vurderer at det er faglig grunnlag for å videreføre ordningen slik den er innrettet i dag.

Det vil være aktuelt å vurdere tilskuddsordningen på nytt om fem til ti år. Mer kunnskap om effekter på klima, vannmiljø og terrestrisk naturmangfold med det gjødslingsregimet som praktiseres i Norge kan gi grunnlag for revisjon av retningslinjene.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Skogen i Norge er viktig i klimasammenheng ved at den hvert år har et netto opptak av CO₂ som tilsvarer nesten halvparten av utslippene i de andre sektorene. I tillegg er bærekraftig bruk av skogressurser en viktig kilde til fornybar energi og til trematerialer som kan erstatte mer klimabelastende materialer. Skogøkosystemene lagrer også store karbonmengder, og har viktige funksjoner for å dempe negative effekter av klimaendringer. Netto opptak av CO₂ i norske skoger har hatt en nedadgående trend siden toppåret 2009 (Miljødirektoratet mfl. 2021). Både økningen i årlig opptak frem til 2009, og den avtakende trenden i opptaket etter det, er påvirket av skogforvaltningen (Søgaard mfl. 2019). Det er mange faktorer som spiller inn. Aktiv skogskjøtsel og innsats for å øke det produktive skogarealet i tiårene etter andre verdenskrig har vært viktig for økningen, mens en økende andel eldre skog er en viktig faktor for at trenden nå er nedadgående.

I norsk skog på fastmark er tilgang på nitrogen (N) den enkeltfaktoren som i størst grad begrenser trærnes vekst. Fordi nitrogen gjødsling gir økt tilvekst, vil tiltaket bidra til å øke CO₂-opptaket på skogarealet som gjødsles. Skoggjødsling vil ha en relativt rask effekt på CO₂-opptaket, til forskjell fra de fleste andre klimatiltak i skog. I tillegg til økt stammevolum vil også mengden av greiner, nåler, bark og røtter øke. Tiltaket vil følgelig både gi et økt salgbart volum for skogeier, og en større tilgang på ressurser som kan brukes til å erstatte fossilt eller fossilintensive produkter (substitusjon). Gjødsling av skog har følgelig potensielt positive effekter for både klima og skognæring. Men på den annen side kan nitrogen gjødsling av skog gi negative effekter på naturmangfold og vannkvalitet.

Som oppfølging av Meld. St. nr. 21 (2011–2012) Norsk klimapolitikk, ga Klima- og miljødepartementet (KLD) og Landbruks- og matdepartementet (LMD) et oppdrag til Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet og Norsk institutt for skog og landskap (nå NIBIO) om å utrede gjødsling av skog som klimatiltak. Dette resulterte i rapporten M174-2014: Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier (Miljødirektoratet mfl. 2014).

Rapporten ga en omforent, faglig anbefaling av hvilke skogarealer som egner seg for målrettet gjødsling etter en avveining mellom hensynet til klima, naturmangfold og andre miljøverdier og næring. Rapporten inneholdt også råd til departementene om hvilke miljøkriterier som bør ligge til grunn for skoggjødsling som klimatiltak, samt hvilke virkemidler som må til for at gjødslingen skal bli gjennomført. Av hensyn til vannmiljø definerte etatene en sone med angitte kommuner hvor det ble satt et tak for hvor stort areal som burde gjødsles innenfor sonen i sum over en periode på 5 år. Arealet ble fastsatt til 25 000 dekar, noe som innebærer i gjennomsnitt 5 000 dekar per år. Etatene anbefalte også at både sonen og taket burde vurderes etter fem år ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for miljø, klima og næring.

På denne bakgrunn ble det i 2016 etablert en ordning med tilskudd til nitrogen gjødsling av skog, og forvaltningen av ordningen ble lagt til Landbruksdirektoratet.

Gjødsling i skog hadde størst utbredelse i Norge på 1960-tallet, med et årlig gjødslet areal opp mot 100 000 dekar. På 2000-tallet var årlig gjødslingsareal i skog lavt, med ca. 5-10 000 dekar i året. Innføringen av tilskudd til gjødsling som klimatiltak førte til at det årlige arealet økte til ca. 60 000 dekar i gjennomsnitt i perioden 2016-2020. Årlig gjødslingsareal i denne perioden tilsvarte 0,07 prosent av det produktive skogarealet.

1.2 Oppdraget

I Meld. St. 13 (2020-2021), Klimaplan for 2021-2030, har regjeringen besluttet å videreføre og eventuelt styrke eksisterende klimatiltak i skog, med det mål å øke CO₂-opptaket. Tilskudd til gjødsling av skog er ett av de eksisterende tiltakene. I klimameldingen går det også fram at ordningen for tilskudd til gjødsling av skog skal vurderes i 2021. Som i 2014 har LMD og KLD gitt oppdraget med evaluering av ordningen til Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO).

I henhold til oppdragsbrevet skal etatene vurdere ordningen for tilskudd til gjødsling av skog. Det er spesielt trukket fram den geografiske avgrensningen av hensynssonen og det arealmessige taket ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for miljø, miljømål i vann, klima og næring. Videre skal etatene vurdere om det er kommet ny forskning, dvs. etter at tilskuddsordningen ble etablert, som eventuelt burde få betydning for utformingen av ordningen. Det legges til grunn at det trekkes på relevante forskningsmiljøer ved behov.

1.3 Prosjektorganisering

Prosjektet er et samarbeid mellom Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og NIBIO, der Landbruksdirektoratet har ledet arbeidet. Arbeidet med utredningen har vært organisert med en arbeidsgruppe bestående av medarbeidere fra de tre etatene, samt en styringsgruppe der avdelingsdirektører fra hver etat er representert.

Prosjektdeltagere:

Rolle	Navn
Prosjekteiere/styringsgruppe	Geir Grønningsæter, Landbruksdirektoratet Siri Sorteberg, Miljødirektoratet Bjørn Håvard Evjen, NIBIO
Prosjektleder Hovedkontakt	Jon Andreas Ask, Landbruksdirektoratet Jakob Sandven, Miljødirektoratet Gunnhild Søgaard, NIBIO
Arbeidsgruppe	Landbruksdirektoratet: Baro Møset Trond Svanøe-Hafstad Torleif Terum Fredrik Vaadal Runa Stenhammer Aanerød Miljødirektoratet: Jon Lasse Bratli Odd Kristian Selboe Sina Jenhaug Ringlund NIBIO: Kjersti Holt Hanssen

1.4 Avgrensning av oppgaven og oppbygging av rapporten

Rapport M174–2014 gir en fylldig gjennomgang av tiltaket gjødsling av skog og anbefalinger om innretning av tilskuddsordningen. Denne evalueringen har ikke hatt som formål å ta en fullstendig gjennomgang av rapporten fra 2014, men har hatt to hovedfokus:

- Evaluering av hensynssonene: geografisk og nivået på taket for tilført gjødsel
- Vurdere eventuell ny forskning eller kunnskap etter 2014 som kan påvirke tilskuddsordningen

Vi har valgt å avgrense oppgaven til hovedsakelig å vurdere dagens gjødslingspraksis iht. de retningslinjene som har vært gjeldende for ordningen (se kapittel 2.1). Vi har i liten grad vurdert alternative gjødslingsregimer, f.eks. andre doseringer, gjødsling av yngre skog eller andre vegetasjonstyper. Denne avgrensningen har også vært førende for de eksterne utredningene.

I forbindelse med utredningen har vi valgt å utdype tre hovedtemaer gjennom ekstern bistand:

- Klima
- Vannmiljø
- Terrestrisk naturmangfold

Dette er i tråd med bestillingen fra departementene, men også de tre hovedtemaene som er vurdert som mest relevante for å kunne vurdere effekten av gjødsling.

Innenfor vannmiljø har NIVA og NIBIO utarbeidet en egen rapport: Gjødsling av skog - vurdering av eksisterende hensynssone og tak for nitrogengjødsling på bakgrunn av ny kunnskap (Kaste mfl. 2021).

Innenfor naturmangfold har NINA og NIBIO utarbeidet et notat (Schei mfl. 2021), vedlegg 8.1.

Begge disse utredningene er utført på bestilling fra direktoratene, og NIBIO har ikke har vært involvert som oppdragsgiver.

For å vurdere eventuell ny kunnskap om klimaeffekter ved gjødsling av skog, ble det gjennomført en workshop med forskere fra Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Norsk institutt for naturforskning (NINA), Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO). Referat og presentasjoner fra workshopen inngår som en del av kunnskapsgrunnlaget for evalueringen. Referatet er gjengitt i vedlegg 8.2.

Rapporten er bygd opp på følgende måte:

Kapittel 2 beskriver tilskuddsordningen slik den har vært gjennomført i perioden 2016-2020.

Kapittel 3 – 5 går igjennom nytt kunnskapsgrunnlag innenfor hovedtemaene klima, vannmiljø og hensynssonen, naturmangfold.

Kapittel 6 gir en oppsummering av ny kunnskap innenfor relevante fagområder og en anbefaling for tilskuddsordningen.

2 Beskrivelse av tilskuddsordningen

2.1 Retningslinjer for tilskuddsordningen 2016-2020

I rapport M174-2014 ble potensielt gjødslingsareal beregnet til 70-130 000 dekar per år. Arealet ble redusert til 50-100 000 dekar ved innføring av en hensynssone med et arealtak for gjødsling i kommuner ved Oslofjorden og Skagerak (figur 1 og vedlegg 8.4). I beregningene av mulig gjødslingsareal var ikke vegetasjonstypene småbregne og storbregne medberegnet, slik at potensielt areal er noe større.

Rapporten anbefalte en forvaltningsmodell der forutsetningen var at skogsgjødsling skulle økes i omfang, og at tiltaket skulle vare over tid. Det ble anbefalt å gi et tilskudd til tiltaket, over 30 prosent, kombinert med informasjon om tiltaket og ordningen. Tilskuddsordningen skulle innarbeides i Landbruksdirektoratets eksisterende tilskuddssystem for skogkulturaktiviteter.

Det ble anbefalt å systematisere prosessen med identifisering og prioritering av aktuelle areal for gjødsling ut fra anbefalte miljøkriterier, der kommunene skulle få en viktig oppgave med identifisering av areal, sammen med Statsforvalteren, Skogeierandelslag, NORSKOG og andre tjenestetilbydere. Tjenestetilbyderne skulle samordne, organisere og gjennomføre gjødslingsoppdragene i samsvar med skogeiers ønske og de retningslinjene som ble utarbeidet.

I M174-2014 ble det forventet en tiltakskostnad på ca. 300 kr/dekar og en tilskuddsutbetaling på ca. 100 kr/dekar. Kostnaden per tonn CO₂ ble beregnet til å være rundt 80 kr.

Anbefalingene i 2014 la stor vekt på utvelgelse av egnede arealer og miljøkriterier. Utvelgelsen ble basert på hensynet til best mulig klimaeffekt, akseptable virkninger på naturmangfold og andre miljøkriterier og samtidig grunnlag for framtidig næringsutøvelse.

Arealer aktuelle for tilskudd ble anbefalt vurdert i forhold til eventuelle miljøverdier og prinsippene i naturmangfoldlovens §§8-12. I tillegg ble det gitt enkelte presiseringer utover de generelle prinsippene. Dette gjaldt områder fredet etter naturvernloven og kulturminneloven, områder satt av til naturvern etter plan og bygningsloven og utvalgte MIS-figurer etter forskrift om bærekraftig skogbruk. Det ble også henvist til vannforskriften og norsk PEFC-skogstandard som førende for aktiviteten.

De generelle miljøkriterier som ble anbefalt omfattet bestand med bonitet 8-20. Lauv skulle utgjøre mindre enn 20 prosent og det skulle være mindre enn 50 prosent lavdekning i marksjiktet. Bestandene skulle være ensaldrede og med god sunnhetstilstand og optimal tetthet. Det ble lagt til grunn en gjødslingspraksis med kalkholdig gjødsel, der 15 kg N/dekar skulle tilføres 10 år før hogst. Det ble anbefalt å avsette gjødslingsfrie soner i samsvar med PEFC standard og minst 25 meter nedstrøms mot innsjøer, elver og bekker med helårs vannføring. Gjødsling skulle skje på barmark og det skulle tas hensyn til risikoen for næringslekkasje ved gjødslingstidspunkt.

Av hensyn til at deler av Sør-Norge hadde utfordringer knyttet til nitrogen og vannmiljø, ble det opprettet en hensynssone som inkluderte en rekke kommuner ved Oslofjorden/Skagerak, der det ble satt et tak på mulig gjødslingsareal på 25 000 dekar i løpet av en 5-årsperiode. Mer om denne hensynssonen er beskrevet i kapittel 4.

Retningslinjene for tilskuddsordningen (gjengitt i faktaboks) ble utformet i tråd med anbefalingene rapport M174-2014.

Retningslinjer fra Landbruksdirektoratet for ordningen 2016-2020 (oppdatert med nye kommunenummer):

RETNINGSLINJER - Gjødsling av skog

Rapport M174 – 2014 Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak legges til grunn for tiltaket.

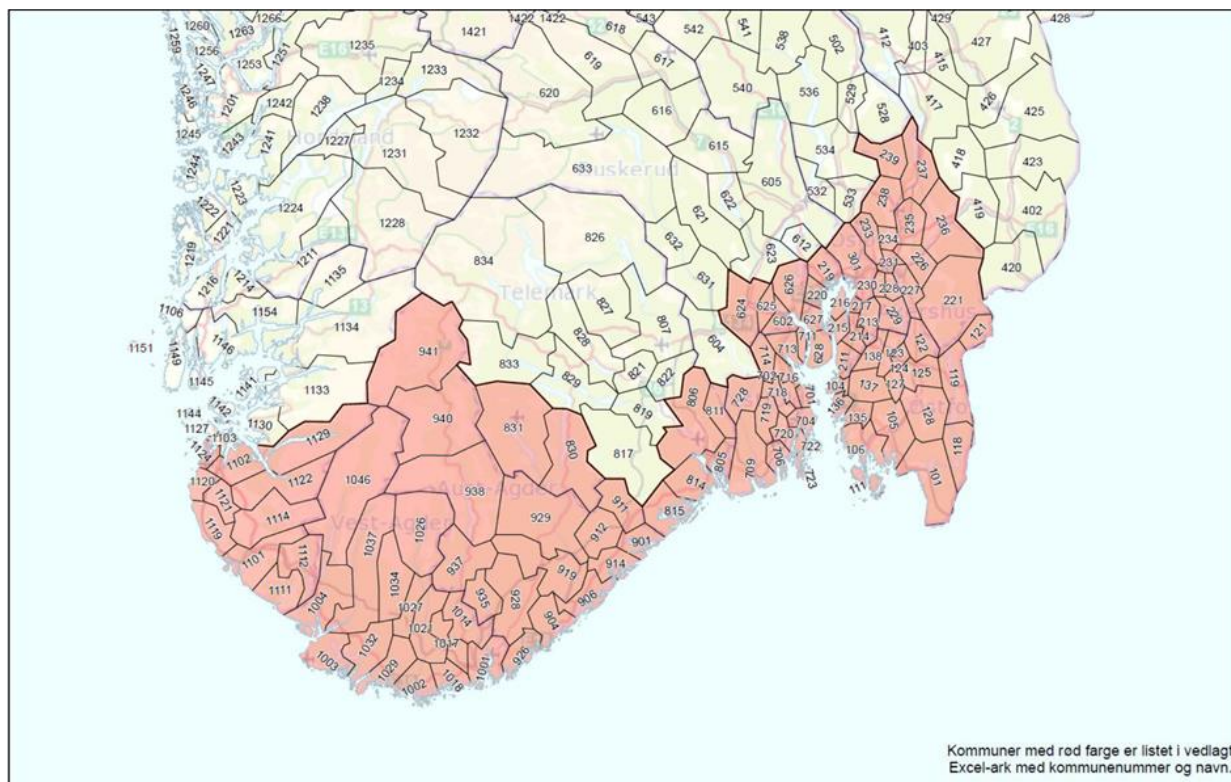
Område med tak på skoggjødslingen

I følgende område er det satt et tak for gjødsling av skog på 25.000 dekar i løpet av en periode på fem år: Kommunenummer 1101, 1108, 1111, 1112, 1114, 1119, 1120, 1121, 1122 og 1124 i Rogaland fylke, kommunenummer 4201, 4202, 4203, 4204, 4205, 4206, 4207, 4211, 4212, 4213, 4214, 4215, 4216, 4217, 4218, 4219, 4220, 4221, 4222, 4223, 4224, 4225, 4226, 4227 og 4228 i Agder fylke, kommunenummer 3801, 3802, 3803, 3804, 3805, 3806, 3807, 3811, 3812, 3813, 3814, 3822 og 3823 i Vestfold og Telemark fylke, kommunenummer 3001, 3002, 3003, 3004, 3005, 3011, 3012, 3013, 3013, 3014, 3015, 3016, 3017, 3018, 3019, 3020, 3021, 3022, 3023, 3024, 3025, 3026, 3027, 3028, 3029, 3030, 3031, 3032, 3033, 3034, 3035, 3036, 3037, 3048 og 3049 i Viken fylke, kommunenummer 0301 i Oslo fylke.

Landbruksdirektoratet legger dette taket til grunn ved tildeling. Dersom rapporteringen til ØKS viser at det ovenfor nevnte området nærmer seg taket på 25.000 dekar mot slutten av en femårsperiode vil dette være styrende for tildeling av midler. Det vil da også settes tak for hvor mye det enkelte fylke kan bruke av tilskuddsmidler innen de kommuner som inngår i området med tak på skoggjødslingen.

Føringer

1. Miljøverdier omtalt i gjødselrapporten M174-2014 skal på forhånd sjekkes ut mot offentlige databaser og hensyntas når gjødslingen utføres.
2. Det skal gjødsles med kalkholdig gjødsel.
3. Det kan gjødsles på egnede arealer på vegetasjonstypene blokkebærskog, bærlyngskog, blåbærskog, småbregneskog, storbregneskog og på torvmark med etablert foryngelse.
4. Gjødsling utføres i produksjonsskog med mindre enn 20 % lauv på furudominerte arealer med bonitet F8 til F17 og grandominerte arealer på bonitet G8 til G20. Bestandet bør ha optimal tetthet og ikke være flersjiktet. Lavarter bør utgjøre < 50 % av marksjiktet.
5. Gjødslingen må utføres slik at den ikke påvirker verdifulle miljøforekomster i nærheten av de gjødslende arealene. Det avsettes en gjødsselfri sone på 10-15 meter.
6. Det avsettes en gjødsselfri sone på minst 25 meter i nedstrøms retning mot innsjøer, elver og bekker med helårs vannføring.
7. Gjødsling med nitrogen skal ikke skje før snøsmeltingen er ferdig. For øvrig tilpasses gjødseltidspunktet slik at risiko for næringslekkasje blir minst mulig.
8. Det skal normalt gjødsles med inntil 15 kg per dekar.
9. På gjødslende arealer vil tilveksten øke i en periode på 6 til 10 år og hogst skal normalt utsettes i om lag 10 år til gjødselvirkningen er avsluttet.
10. Hogstklasse fire prioriteres. Veksterlige bestand av furu i tidlig hogstklasse fem kan gjødsles dersom de ikke planlegges hogd før om lag 10 år. Sein hogstklasse tre kan gjødsles noen år etter at eventuelle tynninger er avsluttet.



Figur 1: Oversikt over kommuner innenfor hensynssonen i henhold til rapport M174-2014. Se vedlegg 8.4 for nye kommunenummer og kommunenavn.

Tilskudd til gjødning er et produksjons- og kvalitetsfremmende tiltak som har vært hjemlet i gjeldende forskrift om tilskudd til nærings- og miljøtiltak i skogbruket § 4, og tilskuddsordningen er forvaltet i samsvar med dette. Det betyr at vedtaksmyndighet for tildeling av tilskudd ligger hos kommunen.

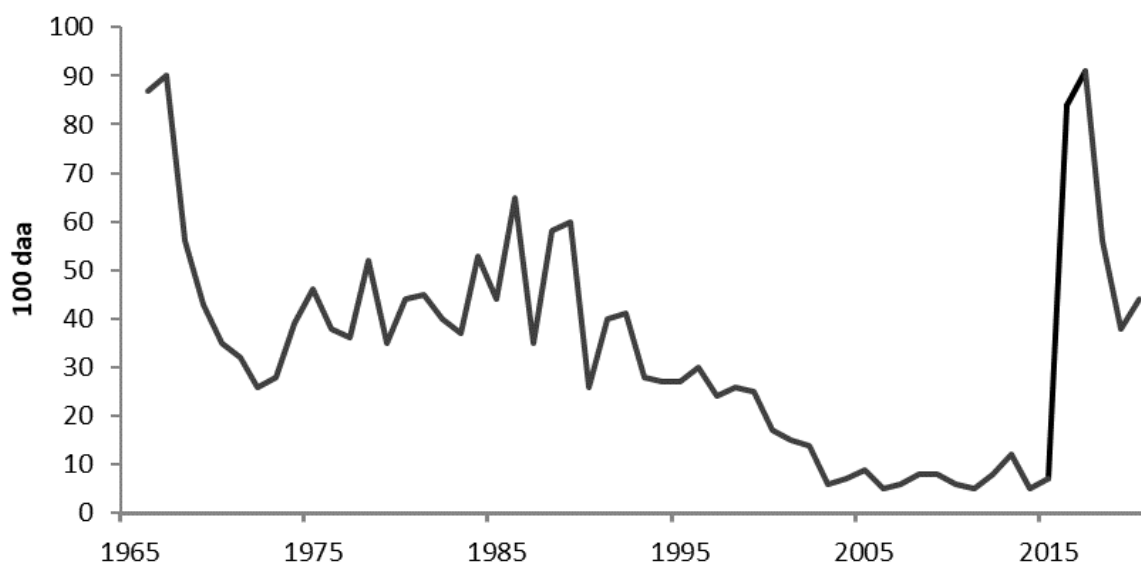
Tilskuddssatsen har i perioden vært 40 prosent.

2.2 Gjødning av skog etter innføringen av tilskuddsordningen

2.2.1 Historisk utvikling i gjødningsareal

På 1970 og 80-tallet ble det gjødningsareal omkring 50 000 dekar årlig, men tallet sank gradvis fram mot årtusenskiftet. I tiårsperioden fram til 2015 lå årlig gjødningsareal i Norge på ca. 7000 dekar. Da tilskuddsordningen ble etablert i 2016 fikk vi en markant økning i årlig gjødningsareal. I perioden 2016 til 2020 er det utbetalt tilskudd til totalt 310 000 dekar, det vil si 62 000 dekar per år i gjennomsnitt.

Gjødslet areal 1966-2020



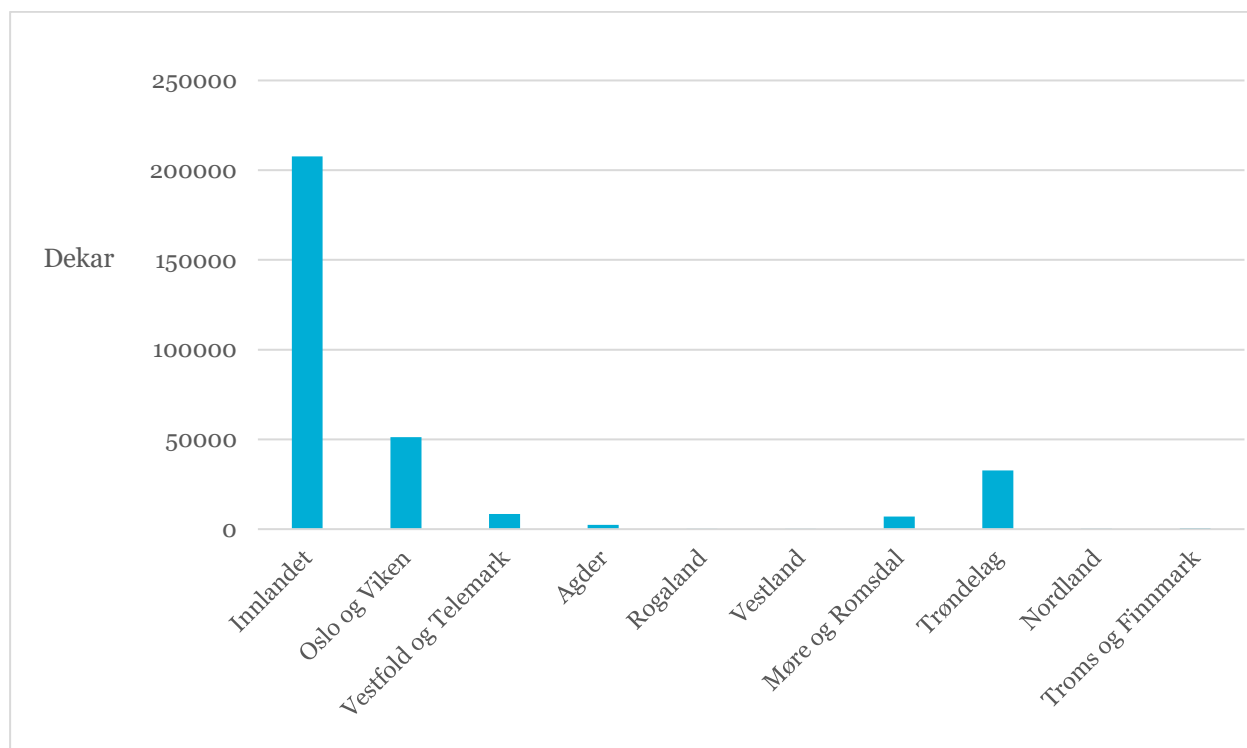
Figur 2: Gjødslet skogareal i perioden 1966 – 2020 (1000 dekar) (Kilde: SSB).

Det er utbetalt i underkant av 45 millioner kr gjennom tilskuddsordningen for gjødsling av skog i perioden 2016-2020. Kostnaden per dekar har steget fra 327 kr i 2016 til 416 kr i 2020. Tilsvarende har tilskuddsutbetalingen økt fra 130 til 166 kr/dekar i perioden.

Tabell 1: Gjødslet skogareal i perioden 2016-2020, kostnad og utbetalt tilskudd (Landbruksdirektoratet).

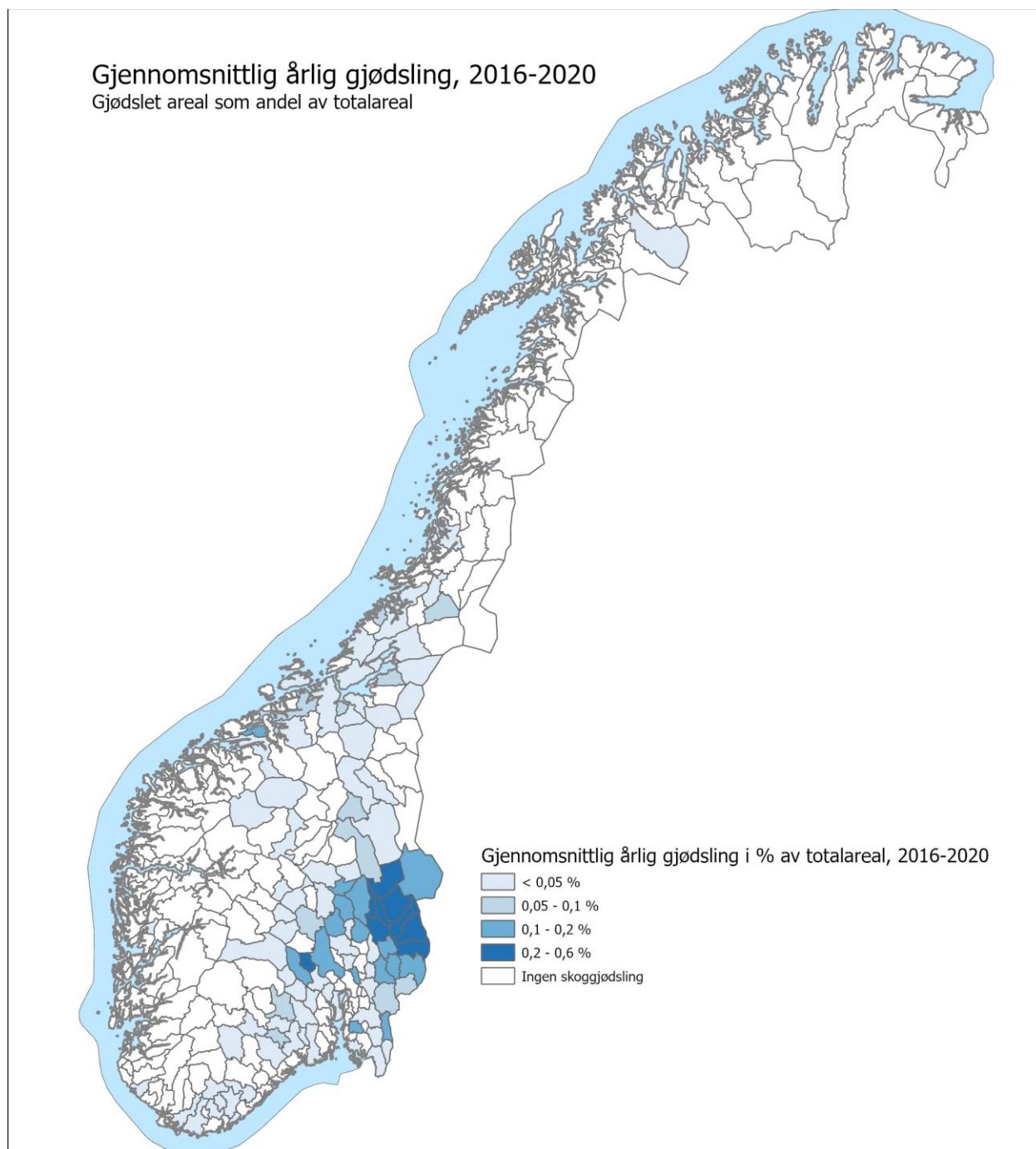
	2016	2017	2018	2019	2020	Totalsum
Areal (1000 dekar)	83	90	57	35	45	310
Tilskudd (1000 kr)	10 875	12 546	8 157	5 460	7 501	44 540
Kostnad (1000 kr)	27 189	31 365	20 393	13 651	18 752	111 350

Geografisk er det i Innlandet det gjødsles mest, med ca. 2/3 av arealet. Deretter kommer Oslo og Viken, Trøndelag, Vestfold og Telemark og Møre og Romsdal. Det er store variasjoner mellom kommunene når det gjelder skoggjødslingsaktivitet.



Figur 3: Totalt gjødslet skogareal i perioden 2016-2020 fordelt på fylker (Landbruksdirektoratet).

Andel årlig gjødslet areal av totalarealet i kommunene ligger for de fleste kommunene på under 0,1 prosent, men opp mot 0,5 prosent for de kommunene med størst aktivitet (Figur 4). I prosent av produktivt skogareal ligger andelen årlig gjødslingsareal stort sett under 0,2 prosent. 19 kommuner har et gjennomsnittlig årlig gjødslingsareal på over 0,2 prosent, der de med høyest aktivitet ligger opp mot 0,7 prosent (vedlegg 8.3).

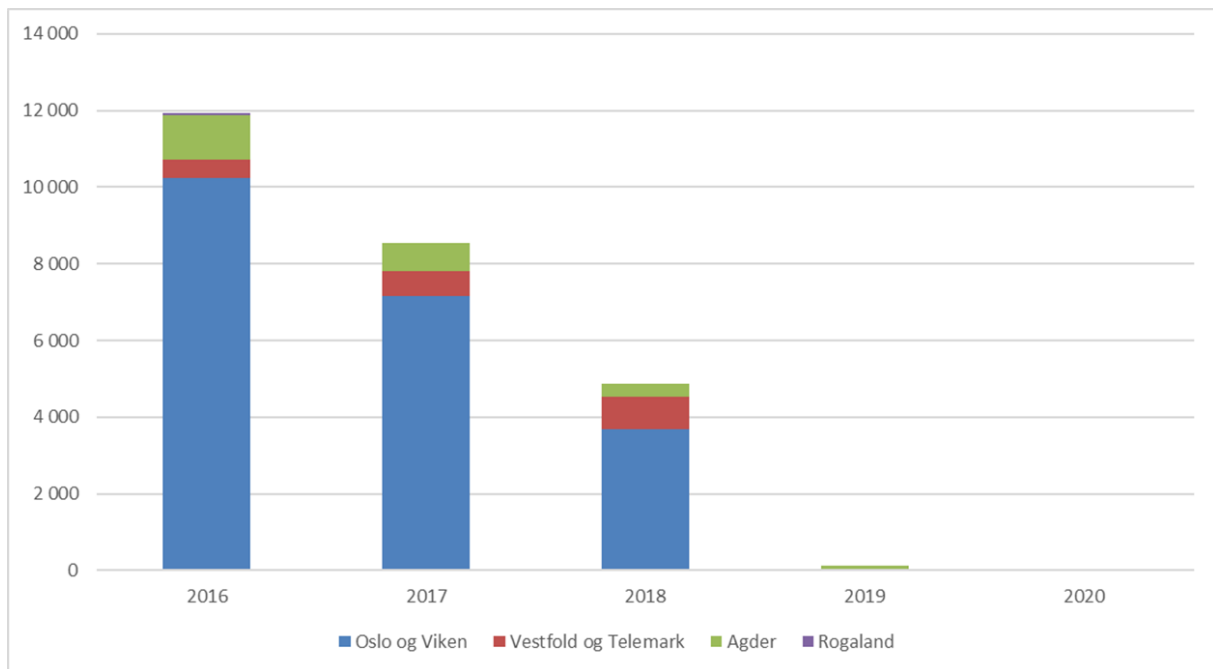


Figur 4: Gjennomsnittlig årlig gjødslet areal i prosent av totalareal i kommunen (Landbruksdirektoratet).

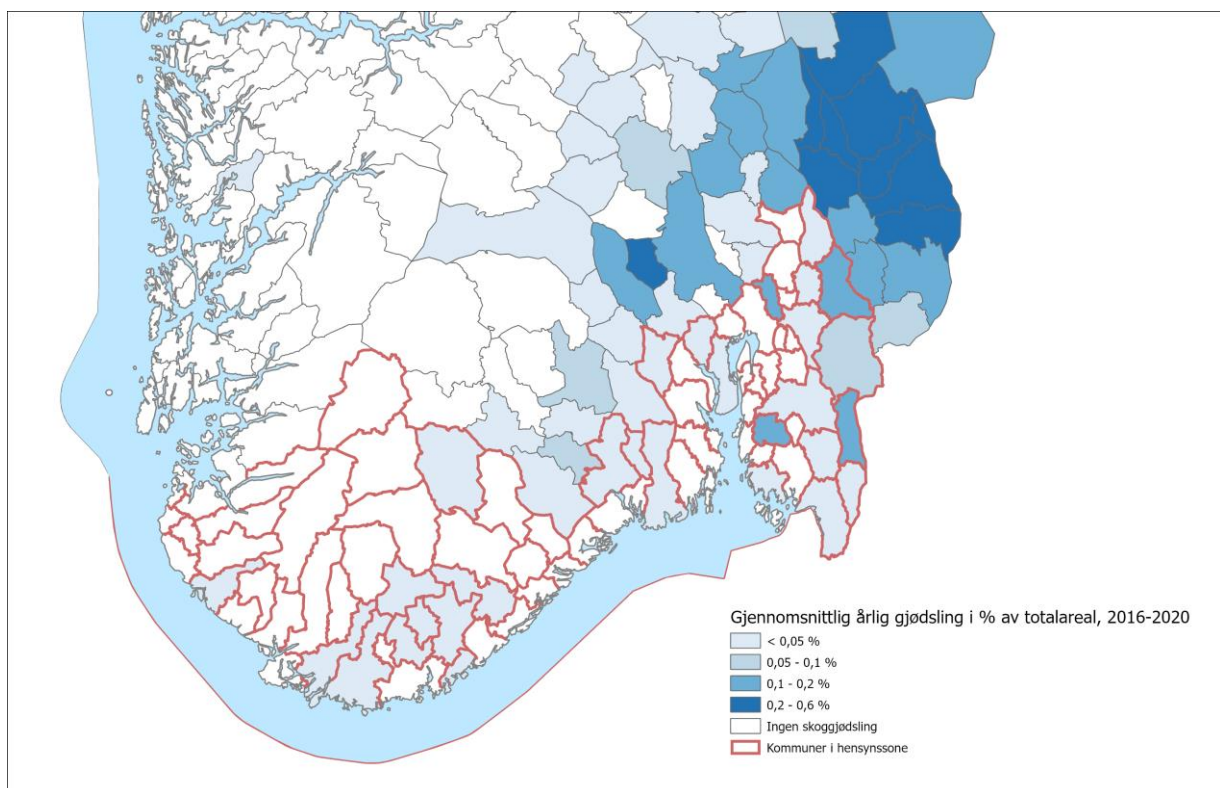
I følge tilskuddsstatistikken er det meste av gjødslingsarealet furudominert (69 prosent), mens resten av arealet er grandominert. Det blir hovedsakelig gjødslet i hogstklasse 4 (72 prosent). 15 prosent av gjødslingsarealet er karakterisert som hogstklasse 3, mens resten er i hogstklasse 5. Bonitetsfordelingen på det gjødslede arealet viser at 98 prosent av arealet ligger mellom bonitet 11 og 17, mens det er svært små areal i bonitet 8 og 20. Når det gjelder vegetasjonstyper ligger over halvparten av arealet i bærlyngskog (52 prosent), 39 prosent i blåbærskog, 6 prosent i småbregneskog, mens det er kun små arealer i andre vegetasjonstyper (se figurer i vedlegg 8.3).

2.2.2 Gjødseleareal innenfor hensynssonen

Innenfor hensynssonen er det gjødslet 26 200 dekar, det vil si litt over 5000 dekar per år. Størstedelen av dette arealet ligger i Oslo og Viken fylker.



Figur 5: Gjødset areal i hensynssonen fordelt på fylke og år i dekar (Kilde: Landbruksdirektoratet).



Figur 6: Gjennomsnittlig årlig gjødset areal i % av totalt areal, i kommuner som ligger innenfor hensynssonen (markert med rødt).

2.3 Gjødslingsmetode og miljøhensyn

I følge tilskuddsstatistikken blir 95 prosent av arealet gjødslet med helikopter. Det benyttes grovgranulat gjødsel, som inneholder 27 % N, 5 % Ca, 2,4 % Mg og 0,2 % B. Ved en gjødselmengde på 55 kg/dekar blir det da tilført 15 kg N.

Resultatene i kapittel 2.1 viser at ordningen i stor grad er praktisert i tråd med retningslinjene, både når det gjelder bonitet, hogstklasse, vegetasjonstype og treslag. Denne statistikken er imidlertid noe grovmasket, da det gjerne settes samme egenskap for hele gjødsselfeltet og iblant også for flere gjødsselfelt hos samme skogeier. Det vil derfor kunne være variasjoner innen feltet som ikke fanges opp av statistikken, men generelt ser det ut til at riktig areal blir valgt ut for gjødslingen.

Alle gjødsselfelt er kartfestet og ligger i offentlig tilgjengelige databaser. Det er et omfattende materiale som kan brukes til å gjøre kontroller og seinere undersøkelser. Med relativt enkle analyser kan en også få mer detaljert kunnskap om gjødsselfeltene.

I 2020 ble det gjennomført en masteroppgave som undersøkte alle områder som hadde mottatt statstilskudd til gjødsling i perioden 2017 – 2019 (Solli 2020). Formålet med oppgaven var å vurdere om de oppsatte miljøkriteriene hadde blitt fulgt, og om det hadde blitt gjødslet i de anbefalte skogtypene. Konklusjonen i oppgaven var at retningslinjene fra Landbruksdirektoratet for hvordan tiltaket skal utføres for å berettigg utbetaling av tilskudd i stor grad var fulgt. Det er i hovedsak gjødslet innenfor boniteter fra 8 til 20. Også kriterier knyttet til treslag (>80 prosent bartrær) og jorddybde ser ut til å være fulgt. I hovedsak er det gjødslet innenfor arealtypen skog og noe myr. Det ble funnet noe overlapp av gjødsel innenfor buffersonen rundt vann, elver og bekker og innenfor buffersonen til livsmiljø i skog. Det forekom også gjødsling innenfor kulturminner. Det er noe usikkerhet rundt hvor stor andel av arealet denne feilgjødslingen utgjorde, da det vil avhenge av blant annet spredningsbredden ved gjødslingen og hvordan helikopterpiloten regulerer denne.

I rapport M174-2014 ble det lagt til grunn at gjødselspredningens nøyaktighet ligger i størrelsesorden 10 meter. Stikkprøver fra gjødslingsfelt i Sverige de senere år viser at det er få avvik og at nøyaktigheten på spredningen vanligvis er svært god. Men det er viktig at kartgrunlaget for flygingen er nøyaktig fordi det er vanskelig å korrigere flygingen underveis i gjødslingen. Spredningen kan justeres 10-25 meter til hver side. For å få jevnest mulig spredning kjøres det over arealet to ganger med halve gjødselmengden hver gang. Spredningen starter og stopper automatisk ut fra det kartet som er lagt inn i datamaskinen i helikopteret. Det gjennomføres regelmessige stikkprøver av gjødselspredningen. Når det gjelder vindavdrift så kjører man ikke ved svært kraftig vind. Utover dette vil det være liten vindavdrift da en flyr relativt lavt, samt at gjødsla er grovgranulat.

2.4 Oppsummering

Tilskuddsordningen har virket etter hensikten gjennom at arealet som har blitt gjødslet har økt. Retningslinjene som er lagt til grunn for tilskuddsordningen blir i stor grad fulgt opp. Det er få avvik i forhold til anbefalingen om vegetasjonstyper, bonitet og treslag. Det er påvist noen brudd på buffersoner, spesielt mot vann. Erfaringene tyder på at presisjonen ved gjødsling fra helikopter er god. Men det er viktig at det er gode rutiner ved planleggingen av gjødsselfelt slik at alle sårbare områder blir kartlagt og hensyntatt

3 Klima

3.1 Kort oppsummering av vurderingene i 2014

Vurderingen i rapport M174-2014 viste at nitrogengjødning fører til et økt CO₂-opptak i levende biomasse. Man forventet økt tilvekst, og dermed økt opptak av CO₂, i en periode på 6–10 år etter gjødning. Med en dose på 15 kg nitrogen per dekar ble det anslått at en ville få en tilvekstøkning på omtrent 1,5 m³ stammevolum/dekar. Et omfang av gjødningen på 50 000-100 000 dekar per år ville da gi en forventet klimagasseffekt på 0,14-0,27 millioner tonn CO₂ i året etter 10 år.

Det ble pekt på at nitrogentilførsel ble regnet som et tiltak som kan øke karbonlagringen i jord. Effekten på karbondynamikken i jord var imidlertid svært usikker, og det ble derfor ikke funnet grunnlag for å beregne effekten av gjødning på karbonlager i jord.

Utslipp av N₂O knyttet til nitrogengjødning ble estimert til å være i størrelsesorden 0,01 mill. tonn CO₂-ekvivalenter. Og sannsynligheten for betydelig økte utslipp av N₂O ble vurdert som liten forutsatt at tiltaket begrenses til de arealkategoriene som er lagt til grunn i bruttolista.

Utslippene ved produksjon av gjødsel, transport og spredning fra helikopter ble vurdert som små (< 0,01 millioner tonn CO₂) i forhold til det økte opptaket i den gjødslede skogen.

Det ble vurdert at tiltaket i sum har positiv klimaeffekt. I tillegg ble det pekt på at gjødning gir mer trematerialer som kan erstatte mer klimabelastende materialer. Basert på denne kunnskapen ble ordningen for nitrogengjødning av skog etablert. Som beskrevet i kapittel 2 setter ordningen krav til hvilke typer skog som kan gjødsles (vegetasjonstyper, mm.), og hvordan det kan gjødsles (doser, mv.), samt at skogen ikke skal hogges før 10 år etter gjødningen.

3.2 Ny kunnskap etter 2014

3.2.1 Gjødning og skogproduksjon

Det har ikke kommet ny kunnskap etter 2014 rundt effekten på skogproduksjonen som endrer konklusjonen fra rapport M174-2014, «Målrettet gjødning av skog som klimatiltak». Skoggjødning utføres vanligvis i friske, eldre bestand (hogstklasse 4) av gran og furu med passende tetthet, omtrent 10 år før bestandene skal hogges (se kap. 2.1.). Bonitetsfordelingen på det gjødslede arealet viser at 98 prosent av arealet ligger mellom bonitet 11 og 17. Ti år før bestandene når hogstmodenhetsalder vil tilsi skog i alderen 60 til 90 år, og at mye av skogen som er aktuell for gjødning nå er etablert rundt den tiden hvor flatehogst og bestandsskogbruk begynte å bli dominerende. Det er altså aktivt drevet skog som er aktuelt å gjødsle. For nordiske forhold legges det fortsatt til grunn at en gjødslingsdose på 15 kg N/dekar generelt sett gir økt tilvekst i 6-10 år, på til sammen ca. 1,5 m³ ekstra tømmer. I en studie i eldre granskog fra Hobøl i Østfold (Hanssen mfl. 2020) var tilveksteffekten fem år etter gjødning med 15 kg N/dekar for eksempel ca. 1,8 m³.

I de tilfeller der veksten er begrenset av andre faktorer enn nitrogen, for eksempel tilgang på lys eller vann, vil gjødningen ha redusert effekt. Dette ble også tatt hensyn til i rapport M174-2014, men nye studier bidrar til økt forståelse for sammenhengene. Lim mfl. (2015) viste for eksempel at variasjon i årsnedbør påvirket effekten av gjødning i et furubestand i Nord-Sverige, med mindre vekst i tørre år, mens Henriksson mfl. (2021) fant at økt opptak av vann også økte opptaket av nitrogen i trærne etter gjødning. Optimalt sett bør man derfor ikke gjødsle når det er svært tørt.

Selv om effekten i bestandet som gjødsles er over etter 10 år (Högberg mfl. 2017), viser en nyere studie fra Sverige at det kan være en effekt av nitrogentilførselen også på veksten hos neste tregenerasjon. From mfl. (2015) fant at gran- og furutrær som ble plantet på områder som i forrige omløp hadde blitt gjødslet to ganger med 15 kg N/dekar, etter ti år var signifikant høyere enn trær plantet i ugjødslede kontrollområder. For engangs gjødning lå resultatet midt imellom, uten statistisk signifikante forskjeller fra kontrollen.

Dersom gjødsling fører til økt vekst også i neste generasjon, vil det øke effekten på opptak av CO₂. Det gjenstår imidlertid å se om effekten på tilvekst er varig eller ikke, og om en engangs gjødsling med 15 kg N/dekar faktisk vil ha effekt på lengre sikt, utover 10 år.

3.2.2 Gjødsling og jordkarbon

Mens biomassetilveksten i boreale skogøkosystem i hovedsak er begrenset av tilgang på nitrogen (Högberg mfl. 2017; Tamm, 1991), er endringer i karbonlageret og karbondynamikken i jorda kontrollert av en rekke biologiske, kjemiske og klimatiske faktorer som gjensidig påvirker hverandre (Morris mfl. 2010). Gjødsling kan endre disse forholdene, som igjen kan ha betydning for jordstabiliteten og karbondynamikken på et økosystemnivå (Sponseller mfl. 2016). I typisk nitrogenbegrensede boreale skogøkosystem styres endringer i karbonlager i skogsjorda av produksjon, omsetning og nedbrytning av strø fra trær og bunnvegetasjon, og karbon fra død ved og underjordisk mikrobiell biomasse, inklusivt soppmycel. Om lag 2/3 av karbonet i jorda er beregnet å stamme fra metabolsk aktivitet i levende organismer (Mayer mfl. 2020). Nyere studier indikerer at interaksjoner mellom sopp og planter via mykorrhiza (sopprot) er viktig for regulering av karbonakkumulering i skogsjord (se f.eks. Noormets og Nouvellon 2015), og at dette igjen styres av overføringen av karbon fra plantenes fotosynteseaktivitet til røttene og deres mykorrhiza-symbionter (Högberg mfl., 2017).

I rapport M174-2014 ble det vist til at nitrogentilførsel ble regnet som et tiltak som kan øke karbonlagringen i jord. Siden resultatene var sprikende når det gjaldt effekter både på mykorrhiza, nedbrytning av organisk materiale og strøproduksjon, ble imidlertid konklusjonen at nettoeffekten av gjødsling på karbondynamikken i jord var usikker, og at det ikke var grunnlag for å beregne effekten av gjødsling på karbonlager i jord.

Siden den gang har det kommet flere studier som viser at vi kan forvente positive effekter av gjødsling også på jordkarbon. En gjennomgangsstudie av Mayer mfl. (2020) konkluderer med at hovedmekanismene bak dette er 1) økt tilførsel av organisk materiale til jorda gjennom økt strøfall, dvs. tilførsel av overjordisk strø som nåler, kvist mm., og 2) redusert nedbryting. Forståelsen av balansen mellom mekanismene som styrer denne biokjemiske responsen er imidlertid foreløpig begrenset. Mens økt nitrogentilførsel kan øke nitrogeninnholdet i nålestrø (for eksempel Kjønnaas and Stuanes, 2008; Van Sundert mfl. 2020), viser eldre nedbrytningsstudier at nedbrytningshastigheten i nitrogenrikt strø er høyere relativt til nitrogenfattig strø de første årene, for deretter å bli lavere (Berg og McClaugherty 2008). Van Sundert mfl. (2020) fant at jordegenskaper, og spesielt konsentrasjoner av organisk karbon og næringsstoffer, endret seg signifikant i nitrogengjødslingsforsøk over 10 og 30 års perioder. Akkumulering av strø spilte en nøkkelrolle, der indirekte effekter av gjødsling i form av endret strømengde og strøkvalitet ble funnet å være de viktigste faktorene for endringene i jorda. Betydningen av større mengder nitrogen tilført i engangsdoser er imidlertid usikre. Det er også usikkert om økt karbonlager som følge av nitrogengjødsling er knyttet til en redusert grad av nedbrytning av dødt organisk materiale, eller en redusert nedbrytningshastighet (Zak mfl. 2017). Eksperimentelle nedbørsstudier har for eksempel vist at den metabolske aktiviteten til sopp som bryter ned lignin er redusert ved økt nitrogentilførsel (Zak mfl. 2017). Dette kan ha sammenheng med redusert produksjon av enzymer som bryter ned lignin, når mer nitrogen er tilgjengelig i systemet (Chen mfl. 2018).

Flere tidligere studier har vist endret artssammensetning eller vekst av ektomykorrhiza etter tilførsel av nitrogen. Dette har vært et av punktene hvor det har blitt uttrykt bekymring for effektene av gjødsling, inkludert om negative effekter på mykorrhizaveksten vil oppveie den positive effekten på karbonlagring i trærne. Siden 2014 har det kommet flere studier på temaet, særlig fra Sverige. Fortsatt er det variasjon i resultatene som rapporteres (se også kapittel 5.2.3):

- Marupakula mfl. (2021) viste at for sopp i symbiose med røtter gikk diversiteten ned etter gjødsling med 15 kg N/dekar, for andre sopper i jorda økte den eller var uendret.
- Haas mfl. (2018) undersøkte effektene av å tilføre 7,5-10 kg N/dekar årlig i fem eller 25 år, og konkluderte med at det økte artsdiversiteten av både sopp (inkludert ektomykorrhiza) og bakterier i jorda.

- Tahovska mfl. (2020) fant at det var samme mengdeforhold mellom bakterier og sopp etter 24 år med tilførsel av 4 kg N/dekar, og like mye ektomykorrhiza, men mer nitrogenelskende ektomykorrhiza-arter og saprotrofer (nedbrytersopper).
- Högberg mfl. (2011; 2014) undersøkte hvor raskt ektomykorrhiza-samfunnet kom tilbake til «normalen» etter at årlig gjødsling i 20 år med 11 kg N/dekar opphørte. Seks år etter stopp i tilførselen begynte funksjonen til ektomykorrhiza-samfunnet på opptak av nitrogen å likne på funksjonen i den ugjødsla kontrollen. 20 år etter opphør var det like stort nitrogenopptak gjennom mykorrhizarøtter i de tidligere intensivt gjødsla rutene som i de ugjødsla kontrollrutene, og mengden ektomykorrhiza per arealenhet var igjen like stor.

En reduksjon av mykorrhiza som følge av gjødsling kan være knyttet til en redusert tilførsel av karbon til mykorrhiza fra treet; en strukturell endring i treet rotbiomasse fra finrøtter til større røtter, eller begge disse (Högberg mfl. 2017). I en global metaanalyse på effekter av nitrogentilførsel fant Zhou mfl. (2017) ellers en positiv effekt på mikrobiell vekst når den årlige nitrogentilførselen var lavere enn 100 kg N per hektar. Økt nitrogentilgjengelighet innebærer dermed en reduksjon av soppbiomasse relativt til bakterier (Högberg mfl. 2017).

Effekter av nitrogentilførsel vil generelt variere med opprinnelig nitrogenstatus i skogøkosystemet, type nitrogengjødsel, mengde tilført og også hyppighet, noe som kan bidra til å forklare forskjeller i resultater mellom studier. Nitrogenstatus betyr at responsen vil være relatert til skog- og jordtype. Det er altså fortsatt usikkerhet rundt hvordan nitrogengjødsling påvirker mykorrhiza og andre mikroorganismer i jorda. Responsen vil trolig være avhengig av skog- og jordtype og gjødslingsdose. Resultatene til Högberg mfl. (2011, 2014) tyder på at mykorrhizasamfunnet kan hente seg opp etter noen år, selv etter store doser tilført nitrogen.

Målinger av jordkarbon etter gjødsling inkluderer også karbonet bundet i sopp og andre mikroorganismer i jorda, og viser altså at effekten i sum er positiv. Vi har imidlertid fortsatt ikke god nok kunnskap til å anslå hvor stor karbonlagringsseffekten av gjødsling vil være i jord under forskjellige forhold, eller på kort vs. lang sikt.

3.2.3 Effekten på lystgass og metan

Lystgass

Lystgass (N₂O) er en sterk klimagass. Ett tonn N₂O har 298 ganger større oppvarmingspotensial (GPW – global warming potential) enn tilsvarende mengde CO₂ (se kapittel 2.3.1). Det er mange kilder til utslipp av lystgass, inkludert tilførsel av syntetisk nitrogengjødsel, og alle kildene blir tatt hensyn til i det nasjonale klimagassregnskapet. For N₂O-beregninger i det nasjonale klimagassregnskapet benytter Norge en såkalt «Tier 1»-metodikk. Dette er FNs internasjonale klimapanel (IPCC) sin betegnelse på beregningsmetoder med standardverdier. Det betyr at vi ikke har nasjonale faktorer for disse utslippkildene.

Basert på standard metodikk i det nasjonale klimagassregnskapet i 2014 ble det estimert at gjødsling av 126 000 dekar per år kunne gi et årlig utslipp på ca. 43 tonn i året, som tilsvarer ca. 13 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Som nevnt over har vi ikke nasjonale faktorer. Men det ble i M174-2014 vurdert at områdene som er aktuelle for skoggjødsling generelt ikke var arealer med stor risiko for høye N₂O-utslipp.

Det finnes generelt få studier som ser på direkte utslipp av N₂O fra skog som har blitt gjødslet (Shrestha mfl. 2015). En nyere studie (Håkansson mfl. 2021) undersøkte imidlertid effekten på både N₂O og CH₄ (metan) etter gjødsling i ung granskog i Sør-Sverige. I et forsøk som gikk over fire år fant de økt utslipp av N₂O i samme år som det ble gjødslet med 15 kg N/dekar, mens i året etterpå var det ingen forskjell. I et forsøk med ulike doser (0-45 kg N/dekar) var det en tendens til økte utslipp med økende gjødselmengde, men fluksene var lave og det var ingen statistisk sikre forskjeller fra ugjødslet kontroll. Samlede utslipp fra produksjon og transport av gjødsel og utslipp av N₂O og CH₄ fra jorda ble i studien funnet å utgjøre mindre enn 1 prosent av det økte CO₂-opptaket i trærne.

Klimapanelets siste revidering av retningslinjer for klimagassregnskapet er gitt i 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2019). Metoder og utslippsfaktorer

bygger på den nyeste publiserte forskningen, og det er gjort en helhetlig vurdering av kunnskapsgrunnlaget. I 2019 Refinement er det foreslått både nye utslippsfaktorer og endring i metodikk for N₂O. For direkte utslipp av N₂O er den generelle faktoren uendret fra de tidligere retningslinjene (1 prosent), men FNs klimapanel peker på at det er betydelig flere publikasjoner bak faktoren, og dermed redusert usikkerhet. For lekkasje og avrenning er det en høyere faktor, mens for indirekte utslipp gjennom volatilisering (atmosfærisk deposisjon) kan det bli en reduksjon. I sum blir det noe økning i utslipp av N₂O ved gjødsling. Vi har imidlertid ikke estimert hvilken netto effekt gjødsling vil kunne ha på utslipp av N₂O i det nasjonale regnskapet med de nye faktorene. Uansett så vil det være av mindre betydning ettersom gjødslingsvolumet er lavt. Utfallet i klimaforhandlingene i Glasgow nå i november 2021, var at landene nå *kan* ta i bruk 2019 Refinement på frivillig basis, men det er ikke obligatorisk for landene. Norge har så langt ikke tatt stilling til implementering av 2019 Refinement.

Med utgangspunkt i de sist rapporterte utslippstallene for Norge (for året 2019), er beregnet utslipp fra skoggjødsling (38 000 dekar) på til sammen 9 tonn N₂O. Omregnet til CO₂-ekvivalenter (GWP₁₀₀ = 298) tilsvarer det 2 680 tonn. Det tilsvarer omtrent 2,5 prosent av forventet økt netto opptak av CO₂ for et tilsvarende areal.

Utslipet er i tråd med det som er beskrevet i rapport M174-2014. Det er altså ikke kommet ny kunnskap etter dette som påvirker utslippstallene.

Metan

Effekten av gjødsling på opptak eller utslipp av metan (CH₄) fra jord ble ikke vurdert i rapport M174-2014. Mineraljord tar vanligvis opp en viss mengde metan gjennom oksidasjon (Gundersen mfl. 2012). Temperatur, fuktighet, nitrogenstatus og oksygentilgang i jorda er blant faktorene som påvirker metanopptaket.

Tilførsel av nitrogen gjennom gjødsling kan både øke og redusere opptaket, avhengig av dosering, og ulike studier kommer til litt ulike resultater. Aronson og Helliher (2010) fant i en gjennomgangsstudie at lave doser (< 10 kg N/dekar) kan øke opptaket, mens større doser kan ha motsatt effekt. Gjødsling av eng og beitemark ga i den samme studien større negativ effekt på opptaket av CH₄ enn gjødsling av skog, og gjentatt gjødsling var mer negativt enn en engangs tilførsel.

Håkansson mfl. (2021) fant at engangs gjødsling i ung granskog med store doser (≥ 30 kg N/dekar) ga signifikant lavere opptak av CH₄ i jorda den sesongen det ble gjødslet, selv om mengdene generelt var små. Gjødsling med 15 kg N/dekar ga ingen effekt på CH₄-opptaket i det ene forsøket, og økt opptak i det andre forsøket, men bare det første året. De konkluderte med at CH₄-opptaket i jorda var lavt både for kontroll- og gjødslingsruter, og at en engangs gjødsling med ≤ 15 kg N/dekar i boreal barskog ikke påvirker skogens CH₄-balanse i særlig grad.

Basert på tilgjengelig kunnskap konkluderer vi med at klimagasseffektene knyttet til metanutslipp fra jord etter gjødsling trolig vil være små i forhold til det økte CO₂-opptaket i trærne.

3.2.4 Substitusjon

For å beregne den samlede forventede klimaeffekten av skoggjødsling må en også ta inn den forventede effekten av tiltaket i form av substitusjon av fossil energi og klimagassintensive produkter. Ifølge FNs klimapanel er klimautfordringene i verden først og fremst forårsaket av utslipp av fossilt karbon fra forbrenning av kull, olje og gass (IPCC AR5). Å redusere tilførselen av karbon fra det langsomme kretsløpet inn i det raske, det vil si å redusere utslipp av fossilt karbon, vil derfor være sentralt (Miljødirektoratet mfl. 2016). Det er lagt til grunn i dette oppdraget at det gjødsles skog som skal avvirkes.

Best substitusjonseffekt får en gjennom at tømmeret brukes i langlevde produkter, og ideelt sett kan fiberen brukes til å erstatte fossile ressurser flere ganger gjennom gjenbruk i nye produkter ved endt levetid. Dette kan skje for eksempel ved at rivningsvirke fra trekonstruksjoner kan inngå i trebaserte plater, og disse til sist benyttes til bioenergi.

Gjødsling av skog er et produksjonsfremmende tiltak. Ved gjødsling vil tømmervolumet øke per arealenhet, og sagtømmerandelen vil også øke noe (Bergh mfl. 2014, Routa mfl. 2017, Bergsaker 2018). Både økt volum og høyere sagtømmerandel vil kunne gi en substitusjonseffekt som kommer i tillegg til økt netto CO₂ opptak.

For at det skal være substitusjon er det en forutsetning at det erstatter fossil energi eller fossilkrevende produkter i en bruk som uansett hadde skjedd, og ikke som ledd i økt forbruk.

3.2.5 Utslipp fra produksjon og transport

Det er utslipp fra produksjon og transport ved gjødsling av skog. I rapport M174-2014 ble utslipp knyttet til produksjon av gjødsel og fra helikoptergjødsling inkludert, ikke utslipp fra transport for øvrig. Dersom også utslipp fra transport for øvrig inkluderes, vil utslippene fortsatt være små, sammenlignet med det økte CO₂-opptaket i trærne. For å estimere utslippene fra transporten har vi tatt utgangspunkt i Vennesland mfl. (2013), som har estimert energiforbruk av forskjellige skogtiltak.

3.2.6 Oppsummering – samlet effekt

Klimagasseffekten av tiltaket vil være avhengig av opptak av CO₂ i trær og annen biomasse, effekter på jordkarbon, og ulike utslippsfaktorer ved produksjon, transport og spredning av gjødsel, samt lystgassutslipp. I tabell 2 oppsummerer vi flere av disse faktorene, så langt vi har kunnskap i dag.

Tabell 2 Meropptaket av å gjødsle et bestand med en gjødseldose på 15 kg N/dekar. Utslipp og opptak er angitt i tonn CO₂-ekvivalenter per dekar. Negative tall er opptak, positive tall er utslipp.

	Effekt første år per dekar	Samlet effekt over 10 år per dekar	Plassering i Klimagassregnskapet
Økt CO ₂ -opptak i trærne (0,15 kubikkmeter per år)	-0,28 ¹	-2,8	LULUCF
Karbondynamikken i jord	Ikke estimert, men forventer en positiv klimaeffekt	Ikke estimert, men forventer en positiv klimaeffekt	LULUCF
Substitusjonseffekter	Ikke estimert, men forventer positiv klimaeffekt	Ikke estimert, men forventer positiv klimaeffekt	Andre sektorer
Utslipp av lystgass (N ₂ O)	0,07 ²	0,07	LULUCF
Utslipp fra gjødsling fra helikopter	0,0024 ³	0,0024	Energi
Utslipp fra transport og planlegging	0,0002 ⁴	0,0002	Energi
Utslipp fra produksjon av gjødsel	0,05 ⁵	0,05	Industriprosesser
Samlet effekt av tiltaket i tonn CO ₂ -ekvivalenter	-0,15	-2,6	

Tabell 2 viser at utslippene fra produksjon av gjødsling, lystgass, transport og spredning av gjødsel er små i forhold til meropptaket i de gjødslede trærne. Ifølge Yara er det et utslipp av klimagasser fra produksjonen

¹ Årlig tilvekst (0,15 m³/dekar/år) * Korreksjon tilvekst GROT (2) * Andel tonn tørrstoff/m³ (0,5) * tonn tørrstoff (0,5) * Omregning tonn CO₂/tonn C (44/12)

² Gjødslingsdose (15 kg N gjødslet/dekar) * utslippsfaktor for N₂O som N (1% av N i gjødslet) * omregning fra kg N til kg N₂O (44/28) * GWP-verdi lystgass (298) * omregning fra kg til tonn (1/1000)

³ Forbruk av drivstoff i helikopter (0,93 l/ dekar) * utslippsfaktor (0,0025 tonn CO₂/l drivstoff)

⁴ Forbruk av drivstoff i biler (0,06 l/dekar) * utslippsfaktor (0,0027 tonn CO₂/l drivstoff)

⁵ "Målbrettet gjødsling av skog som klimatiltak. Egnede arealer og miljøkriterier". Miljødirektoratet, Statens landbruksforvaltning, Skog og landskap, M174 - 2014.

av gjødsel på om lag 0,05 tonn CO₂-ekvivalente per dekar (M174-2014, Miljødirektoratet 2014). Dataene angitt i tabell 2 gjelder for produksjonen av kalkammonsalpeter.

En kan altså forvente et samlet meropptak på ca. 2,6 tonn CO₂-ekvivalenter per dekar om en gjødsler et bestand 10 år før det er hogstmodent. Med dagens aktivitetsnivå vil en kunne få et anslått årlig økt opptak på ca. 160 000 tonn CO₂. Dette er i tråd med anslagene fra 2014.

Vi har ikke ny kunnskap om klimagasseffekten av tiltaket som gir grunnlag for å gjøre endringer i tilskuddsordningen.

4 Vannmiljø og vurdering av hensynssonen

4.1 Kort oppsummering av anbefalinger fra 2014-rapporten

Nitrogengjødsling kan føre til økt utvasking av nitrogen til vassdrag. I svenske studier er dette anslått til 5-10 prosent, men nivået vil avhenge av flere variabler som hogstform, kantsoner mot vann, helning og nitrogenkonsentrasjon i jordsmonnet. I rapporten M174-2014 ble det konkludert med at skoggjødsling sannsynligvis har liten effekt på vannmiljøet, med de mengder som ble anbefalt å benytte. Heller ikke ved gjødsling av et potensielt areal på 50 000-100 000 dekar årlig, ble skoggjødsling vurdert til å være noen stor kilde til nitrogenavrenning på nasjonalt nivå sammenlignet med andre kilder. Noen områder ble vurdert som mer sårbare for ekstra tilførsel av nitrogen, fordi vannmiljøet i områdene allerede hadde en eller flere utfordringer knyttet til nitrogen:

- Atmosfæriske nitrogenavsetninger hadde høyest konsentrasjoner på Sør-Vestlandet.
- Nitrogen og kystvann: Marine områder som er særlig følsomme for økt nitrogentilførsel var spesielt områdene fra svenskegrensa til Lindesnes.
- I ferskvann var det særlig flere vassdrag på Østlandet, Trøndelag og Jæren som hadde høye konsentrasjoner av nitrogen.
- Forekomster av den uønskede arten krypsiv, hadde hatt en stor vekst i flere vassdrag, hovedsakelig på Sørlandet.

Ut fra samlet belastning og et føre-var-prinsipp ble det anbefalt å opprette en hensynssone for de områdene som enten hadde høy nitrogentilførsel fra luft og/eller problemer knyttet til tilførsel av nitrogen til vannmiljøet. Sonen omfattet Rogaland sør for Boknafjorden, de tidligere fylkene Vest-Agder og Aust-Agder, Vestfold, Østfold, Oslo og Akershus og deler av Telemark og Buskerud. Taket på gjødslet areal i denne sonen ble satt til 25 000 dekar over en 5-års-periode. Både sonen og taket skulle vurderes etter fem år ut fra erfaring og kunnskap om hvilke effekter gjødsling har for miljø, klima og næring.

4.2 Ny kunnskap etter 2014

4.2.1 Oppdrag til NIVA og NIBIO

NIVA og NIBIO fikk høsten 2021 i oppdrag av Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet å sammenstille ny kunnskap om nitrogenpåvirkning innenfor hensynssonen og om mulige effekter på vannmiljø av nitrogengjødsling av skog. De har levert egen fagrapport (Kaste mfl. 2021).

Litteratur- og datasammenstillingen skulle beskrive mulige endringer i atmosfæriske N-avsetninger, status for tålegrenser for forsuring og nitrogen, utviklingen av nitrogenstatus for sårbare ferskvannssystemer og kystområder, og nyere forskningsresultater når det gjelder N-lekkasje i forbindelse med gjødsling og senere avvirkning av N-gjødslet skog, med eksempler fra Norge og sammenlignbare nordlige tempererte områder i andre land. De viktigste funnene fra NIVA/NIBIO-rapporten er oppsummert under.

4.2.2 Gjødslet areal siden 2015 og vurdering av utlekking av nitrogen

Av totalt ca. 310 000 dekar skog som ble gjødslet i Norge i perioden 2016-2020, var 26 201 dekar innenfor hensynssonen. Det var lite eller ingen gjødsling i hensynssonen i 2019 og 2020, da taket på 25 000 dekar ble nådd etter tre år. Gjødslingsdose som brukes i Norge på 15 kg N/dekar tilsvarer ca. 15 år med atmosfærisk nitrogenavsetning på Sørlandet og 30 år på Østlandet. Rapporten konkluderer med at utlekkingen i de fleste tilfeller er lav, vurdert til ca. 5 prosent av gjødselmengden, estimert på bakgrunn av norske og utenlandske studier. Dette utgjør lite sammenliknet med den totale menneskeskapte påvirkningen av nitrogen, men kan ha større betydning i lokale vassdrag som ligger tett på områder som gjødsles.

4.2.3 Atmosfæriske avsetninger

Overvåking av luft og nedbør gjort av Norsk institutt for luftforskning (NILU) viser at det har vært en nedgang i atmosfæriske N-avsetninger på stasjoner innenfor hensynssonen de siste 30 år. Målingene ser ut til å ha stabilisert seg de 10 siste årene. Dette bekreftes i stor grad av modellerte data fra EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), hvor det for de fleste rutene ikke er målt signifikant endring siden 2010. Dog er det for noen få ruter, 4 av 17, målt signifikant økning.

4.2.4 Nasjonal vannovervåking

Resultater fra **overvåkingsprogrammet for langtransporterte forurensninger**, utført av NIVA, viser at konsentrasjonen av nitrat i innsjøer på Sør- og Østlandet har vært relativt uendret de siste 5-6 årene. Også på de fire feltforskningsstasjonene innenfor hensynssonen er det registrert kun små endringer i middel konsentrasjonen av nitrat i løpet av de siste 5-10 årene. Lengre dataserier fra de siste 30 år viser at feltene har en betydelig evne til å akkumulere nitrogen, men at det i skrinne utmarksområder kan skje en betydelig nitrogenutvasking til vann, kun med bakgrunn i atmosfærisk deponisjon. **1000-sjøersundersøkelsen** som ble gjennomført i 1995 og 2019 viser en klar nedgang av nitrogen i innsjøene på Vest- og Sørlandet. Denne nedgangen indikerer at innsjøene i større grad har blitt nitrogenbegrenset med tanke på produksjon av alger og vannvegetasjon. Nitrogenkonsentrasjonene viser ingen vesentlige endringer på Østlandet. **Elveovervåkingsprogrammet** viser at, på tross av år-til-år variasjon, ser det ut til at årsmiddel-konsentrasjonene av total nitrogen har vært forholdsvis stabile siden 1990. For 10-års perioden fra 2010 til 2019 var det kun Otra som hadde en signifikant endring (nedgang) i årsmiddelkonsentrasjon av total nitrogen. **TEOTIL-modellen** beregner kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor. I vannregionene Glomma og Vest-Viken har det vært en nedgang i nitrogentilførselene fra 1990 til 2005, men en svak økning de siste år. Agder viser ingen særlige trender på regionalt nivå. Uttrekk fra **Vannmiljø-databasen** indikerer en jevn økning i maksimumsverdiene av nitrogen siden 2015, dog er det mye mer data de siste årene enn tidligere, slik at det er vanskelig å utføre trendanalyser.

4.2.5 Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen og overvåking av skogskader

Den seneste rapporten fra 2016 viser at om lag 7 prosent av Norges totale areal har overskredet tålegrensen for forsuring, mot 8 prosent i den tidligere femårsperioden. Overskredet areal for overgjødningseffekter på vegetasjon ligger stabilt på 20 prosent mens det er ingen overskridelser for forsuring av skogsjord.

Resultater fra skogovervåkingen viser at avsetning av nitrogen i kronedrypp på stasjonene i Sør-Norge var i samme størrelsesorden i 2019 som i rapport M174-2014.

4.2.6 Nitrogenstatus i sårbare ferskvannssystemer og kystvann

Eutrofieringen⁶ i Mjøsa har forverret seg de siste årene, og både i 2019 og sommeren 2021 har det vært oppblomstring av blågrønnalger. Algeproduksjonen er vanligvis fosforbegrenset, men samtidig tilførsel av fosfor og nitrogen kan øke produksjonen. Rundt halvparten av referanseelvene på Østlandet var nitrogenbegrenset i vekstsesongen. De høyeste nitrogenkonsentrasjonene ble registrert på Sørlandet.

Krypsiv er fortsatt et problem i elvene på Sørlandet. Det kan ikke pekes på noen enkeltfaktor som alene trigger problemveksten av krypsiv. Nitrogen fra nedbør har sannsynligvis ikke en avgjørende betydning for forekomsten av krypsiv. Schneider mfl. (2020) peker på flere faktorer som kan ha betydning, mindre isgang, variabel vannstand, reduserte flomtopper, sedimentering og tilførsel av organisk materiale.

⁶ Eutrofiering er en prosess i innsjøer og annet overflatevann, der planteproduksjonen øker på grunn av økt tilførsel av næringsstoffer. (<https://snl.no/eutrofiering>)

Store deler av Oslofjorden har forhøyede konsentrasjoner av nitrogen. Generelt sett er nitrogen en vekstbegrensende faktor i kystvann, men det kan variere mellom fosfor- og nitrogenbegrensning. Det er en klar negativ utvikling i eutrofisituasjonene i Oslofjorden. Modellverktøyet TEOTIL har beregnet bakgrunnsavrenning fra skog og utmarksområder (inkludert atmosfærisk deponisjon) til 39 prosent av de totale nitrogentilførselene til Ytre Oslofjord i 2019.

4.2.7 Ny kunnskap om avrenning fra skogsgjødsling

Det er generelt lite data som dokumenterer utlekking av nitrogen i forbindelse med gjødsling, etter hogst av gjødslet skog og effekt av buffersoner for å redusere utlekking. Siden rapport M174-2014 ble skrevet har det kommet noen relevante resultater fra Norge, Sverige og Skottland. Disse resultatene støtter i stor grad opp om konklusjonene fra tidligere undersøkelser. Det er noen studier på jordvann, men betydelig færre på overflatevann.

To prosjekter (SURFER og BIOWATER) er gjennomført i siste fem-årsperiode. Disse undersøkelsene er delvis basert på litteraturstudier med andre gjødselregimer og delvis på feltforsøk. Førstnevnte prosjekt konkluderer med at utvasking av nitrogen i forbindelse med skoggjødsling potensielt kan ha negative konsekvenser i vannforekomster som er følsomme for eutrofiering eller forsuring. Ved valg av gjødslingslokaliteter bør det tas hensyn til om tilliggende vannforekomster er sårbare i forhold til eutrofiering eller forsuring. SURFER-prosjektet konkluderer også med at det kan være små effekter på N-konsentrasjonen i vann rett etter gjødsling, men at utvaskingen av nitrat blir høyere 5-10 år etter at den gjødslede skogen blir avvirket. Det blir også vist til at det er særlig viktig med gode buffersoner (uten hogst og gjødsling) rundt vannforekomstene.

To studier i Norge belyser mulige effekter på vann som et resultat av gjødsling med de gjeldende retningslinjene som praktiseres i dag, ett i Glitre ved Drammen og ett i Hobøl (Østfold). Et område på 0,675 km² i Glitrevannets nedbørfelt, som utgjorde 1,5 prosent av nedbørfeltet, ble gjødslet i 2017. Vannkvaliteten ble målt i innløpsbekken og i selve Glitrevann. Det ble kun registrert en liten og kortvarig utlekking av nitrat i forbindelse med gjødslingen. En feltstudie av gjødsling av granskog i Hobøl viste at nitrogengjødsling medførte bare en kortvarig økning av nitrat, ammonium og en rekke basekationer, samt en reduksjon i pH, i jordvann ved 40 cm dybde.

Svenske forsøk med gjødsling av skogsfelt nær Gårdsjön viser at med gjødsling hvert år gjennom 26 år (4 kg ammoniumnitrat/dekar/år) øker nitrogenutlekkingen hvert år i 10 år og stabiliserer seg på et nivå med 9 prosent utlekking av den tilførte dosen (Moldan mfl. 2018). Dette er imidlertid et helt annet gjødslingsregime enn det som brukes i Norge. Fra Skottland er det oppsummert effekter i tre små bekker etter gjødsling med både fosfor og nitrogen. Det ble funnet en rask men kortvarig økning i ammonium-N konsentrasjon i bekkene.

Det er ikke gjort lignende studier i Norge som dokumenterer eventuell mer-avrenning av nitrogen ved hogst av gjødslet skog.

4.2.8 Oppsummering vannmiljø og hensynssone

NIVA/NIBIO-rapporten viser at nitrogenstatus for atmosfæriske endringer eller i innsjøer, elver og kystvann er forholdsvis uendret siden rapport M174-2014. Her må bemerkes at nitrogentilførselene har økt kraftig til Oslofjorden over en lengre periode, med en økning på ca. 30 prosent siden tidlig 90-tall til Ytre Oslofjord (Staalstrøm mfl. 2021). Hovedgrunnen til økningen skyldes avløp og jordbruk, men av dagens nitrogentilførseler utgjør bakgrunnsavrenning fra skog og utmarksarealer så mye som 39 prosent. Av dette er det beregnet at en svært liten del kommer fra gjødsling i skog. En utfordring er også den økende eutrofieringen i Mjøsa, som to av de tre siste årene har hatt oppblomstring av blågrønnalger.

NIVA/NIBIO påpeker at det generelt er lite data som kan dokumentere utlekking av nitrogen i forbindelse med gjødsling, etter hogst av gjødslet skog eller effekter av buffersoner for å redusere utlekking. Det finnes noen studier på jordvann, men betydelig færre på overflatevann. Svært få studier har høy nok tidsopløsning til å fange opp kortvarige effekter i forbindelse med regnskyll, snøsmelting eller lignende.

NIVA/NIBIO finner derfor ikke grunnlag for å hverken lempe på eller skjerpe begrensningene innen dagens hensynssone.

Etatene har gjort en vurdering basert på tilgjengelig informasjon og kommet fram til samme konklusjon (se kapittel 6).

5 Terrestrisk naturmangfold

5.1 Kort oppsummering av anbefalinger fra 2014

Nitrogentilførsel øker tilveksten, og kan gi opphav til uønskede effekter på naturmangfold på grunn av endret konkurranseforhold mellom artene og økt biomasseproduksjon. Med forbehold om at de begrensede arealer med produksjonsskog som er aktuelle å gjødsle følger miljøkriteriene, ble det ansett som lite sannsynlig at endringer på bestandsnivå vil få betydning for vanlige arters utbredelse på landskapsnivå. En skal likevel være oppmerksom på den samlede belastningen på de ulike vegetasjonstypene (jf. Naturmangfoldloven §10)

5.2 Ny kunnskap etter 2014

NINA og NIBIO fikk høsten 2021 i oppdrag av Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet å sammenstille ny kunnskap om virkingene gjødsling i skog har på naturmangfold. De leverte en egen fagrapport med en oppsummering av relevante kunnskap som er kommet etter 2014 (vedlegg 8.1).

Litteraturgjennomgangen ble delt opp i de tre temaene fauna, bakkelevende karplanter, moser og lav, og arter under bakken. I tillegg ble det gjort vurderinger av hvilke effekter skoggjødsling kan ha på den økologiske tilstanden for skog.

I fagrapporten presiseres det at få studier er direkte sammenlignbare med norsk gjødslingsregime. Derfor er gjennomgangen basert på litteratur hvor både gjødslingsmengde og antall gjødslingsrepetisjoner varierer og i flere tilfeller er betydelig høyere enn norsk standard. I mangel på kunnskap er det ikke mulig å vurdere hvordan resultatene fra studiene ville blitt hvis de hadde fulgt et norsk gjødslingsregime.

De viktigste funnene fra fagrapporten er presentert i de påfølgende underkapitlene 5.2.1-5.2.4. Hele rapporten finnes i vedlegg 8.1.

5.2.1 Fauna

Det understrekes at det er lite kunnskap om hvordan faunaen påvirkes av skoggjødsling.

I en gjennomgangsstudie viser Sullivan & Sullivan (2018) til at økt næringsinnhold i plantekosten kan forplante seg oppover i næringskjeden. Utover dette påpeker studien at responsen til jordfauna på skoggjødsling er variabel.

Av ny kunnskap finnes en studie som har sett på effekten av gjødsling på løpebiller (Rodriguez mfl. 2021). Dette studiet viste at løpebillesamfunnet fikk lavere funksjonell diversitet etter gjentatt gjødsling, noe som betyr at løpebillearter i de ugjødslete områdene var mer ulike enn løpebillearter i gjødslede bestand. Ulikhetene gikk på funksjonelle trekk knyttet til for eksempel størrelse, når på året de reproduserte og hva de spiste.

5.2.2 Bakkelevende karplanter, moser og lav

For karplanter og bakkelevende moser og lav er ny kunnskap i overensstemmelse med kunnskapen fremstilt i M174-2014.

Studiene som er gjennomgått viser som forventet ikke store endringer i antall arter etter nitrogengjødsling, men heller endringer i dekningsgrad hos artene. Endret dekningsgrad etter gjødsling indikerer endringer i miljøforhold og at artene responderer ulikt på disse endringene. Både eldre og nyere litteratur viser at lav er en artsgruppe som responderer negativt på skoggjødsling, mens hos karplanter og moser viser ulike arter ulik respons, trolig som følge av ulik nitrogenpreferanse. For karplanter konkluderte Sullivan & Sullivan (2018) med at gjentatt gjødsling vil føre til endringer i artssammensetningen mot en mer nitrogenkrevende vegetasjon, men at ved færre gjødslinger (1-2 ganger) kan effektene på karplanter trolig reverseres over tid.

5.2.3 Arter under bakken (sopp, bakterier, mikro- og makroorganismer)

Rapport M174-2014 viser til litteratur som konkluderer med at forhøyede nitrogenkonsentrasjoner forårsaker redusert vitalitet og diversitet hos mykorrhizasopp, men at det synes uklart hvorvidt nitrogengjødslingen reduserer biomassen av mykorrhizasopp. Ny litteratur påpeker at biologisk mangfold under bakken blir påvirket av gjødsling. Sensitive, saktevoksende arter som er tilpasset næringsfattige forhold kan avta i relativ mengde eller forsvinne. De erstattes av nitrofile, hurtigvoksende arter. I mange studier rapporteres imidlertid økte verdier av diversitetsindekser eller artsrikdom. Dette betyr at artssammensetningen endres slik at jordsamfunnet som var tilpasset et lavt nitrogennivå skifter mot et mer nitrofilt samfunn.

Mange studier omfatter, som nevnt over, gjødslingsregimer med større doser enn en engangs gjødsling med 15 kg N per dekar. Marupakula mfl. (2021) undersøkte imidlertid et gjødslet felt med samme gjødslingsregime som i Norge. 15 måneder etter gjødsling var artsrikdommen av sopper i symbiose med røtter redusert, mens for andre sopper i jorda (både mykorrhiza- og saprotrofe sopper) ble artsrikdommen økt i den organiske jorda, men upåvirket i mineraljorda. Samfunnssammensetningen av både rotassosierte sopper og jordsopper ble påvirket av nitrogentilførselen.

5.2.4 Effekter på økologisk tilstand for skog

Økologisk tilstand er basert på en sammenligning mellom dagens tilstand og en referansetilstand som er et økosystem med minimal menneskelig påvirkning. NINA/NIBIO har gjennomgått 13 tilstandsindikatorer som reflekterer den økologiske tilstanden i skog. Det vil si at både høye og lave verdier kan representere et avvik fra referansetilstanden. Fem av indikatorene kan bli påvirket av gjødsling, uten at det er mulig å vurdere styrken i responsen.

For to indikatorer, *blåbærdekning* og *bestandsnivå av hjortedyr*, er vurderingen at gjødsling trolig kan medføre redusert økologisk tilstand. For blåbærlyng kan skoggjødsling redusere dekningsgraden, som allerede ligger under grenseverdien for god økologisk tilstand. Hjorteviltbestandene er i dag vurdert til å være større enn referansetilstanden og gjødsling kan bidra til ytterligere bestandsvekst.

Naturindeksen for skog er sammensatt av mange variabler, noe som gjør det vanskelig å anslå effekten av økt skoggjødsling. For indikatorene *Ellenberg N-indeksen* og *NDVI* («Normalized difference vegetation index»; viser forholdet mellom rødt lys og nær-infrarød stråling, som er nært korrelert med mengde grønn vegetasjon og dermed tett koblet til primærproduksjon) vil gjødsling øke indeksens verdi. På bestandsnivå kan økt verdi innebære både redusert og bedret tilstand. Virkninger på både nasjonalt og regionalt nivå avhenger av hvilke og hvor store arealer som gjødsles.

5.3 Vurdering av kunnskapsgrunlaget

Skoggjødslingens påvirkning på naturmangfold er lite undersøkt i Norge. Vi har ikke detaljerte kunnskaper om det er forskjeller mellom skogtyper, og om, i hvor stor grad og hvor lenge virkninger eventuelt strekker seg inn i neste skogomløp, særlig ved en engangs gjødsling med 15 kg N/dekar. Dersom skoggjødslinga fortsetter på samme nivå som i perioden 2016-2021 (60 000 dekar per år) innebærer det at 6 prosent av det produktive skogsarealet vil være gjødslet over en periode på 80 år. Gjødsling med det omfang og den innretning vi har i dag framstår ikke som noen umiddelbar fare for den økologiske tilstanden i norske skoger. At retningslinjene for ordningen, blant annet med miljøkriteriene anbefalt i rapport M174-2014, synes å være fulgt opp i perioden 2016-2020 styrker denne oppfattelsen.

Det er ikke gjort undersøkelser som spesifikt adresserer mulige virkninger for trua og sårbare arter. De generelle miljøkriteriene, som vi legger til grunn skal bli videreført, tilsier at gjødsling i liten grad vil foregå på arealer som har spesiell verdi for trua arter. At gjødsling i hovedsak vil skje i bestand som er et resultat av bestandsskogbruket (optimal tetthet og ensjiktet) og i biologisk sett relativt ung skog (hogstklasse 4 og tidlig hogstklasse 5) i bestand som skal avvirkes, styrker denne vurderingen ytterligere.

Trua og sårbare naturtyper er ikke de eneste faktorene som beskriver økologiske virkninger av et tiltak. Effekter på vanlig forekommende arter og naturtyper med viktige økologiske funksjoner vil også være

viktige. Et eksempel kan være blåbær, som er en viktig plante for smånagere, skogsfugl og hjortevilt. Vi vet at gjødsling vil påvirke konkurranseforholdet mellom arter både for bakkelevende karplanter, moser og lav og for arter som lever under bakken. Som vi tidligere har påpekt mangler vi detaljert kunnskap om det er forskjeller mellom skogtyper og hvor lenge slike virkninger vil vare.

Gjødslingsaktiviteten er imidlertid ikke jevnt fordelt i landet (se figur 4). Det gjødsles absolutt mest i de sentrale skogfylkene på Østlandet. Det er også disse delene av landet som historisk har hatt det mest aktive skogbruket og den største gjødslingsaktiviteten. I kommunene med størst aktivitet vil i størrelsesorden 18-56 prosent av kommunens produktive skogareal bli gjødslet over en 80 års periode dersom dagens aktivitetsnivå videreføres.

Direktoratene legger til grunn at kunnskapene om virkninger av gjødsling av skog på naturmangfold bør forbedres. Sikrere vurderinger av konsekvenser på bestandsnivå vil være en forutsetning for å kunne vurdere virkninger på landskapsnivå i et mer langsiktig perspektiv. Vi vurderer at gjødslingsomfanget i dag ikke er så stort at det på kort sikt er behov for å vurdere begrensninger utover det som ligger i kriteriene for ordningen i dag.

Direktoratene har imidlertid et ønske om at det i årene framover blir forsket mer også på naturmangfoldvirkninger av gjødsling med det gjødslingsregimet som brukes i Norge. I tillegg vil det være naturlig å se på om det er muligheter for å utvide eksisterende miljøovervåking i skog for å fange opp eventuelle virkninger av gjødsling over tid. De mest aktuelle programmene er Landskogtakseringen og Arealrepresentativ overvåking (ANO). Innretning, innhold og kostnader knyttet til en slik overvåking er ikke vurdert.

6 Konklusjon

Det har ikke kommet ny forskning eller resultater fra overvåking som tilsier at konklusjonene fra rapport M174–2014 bør endres, hverken med hensyn på den geografiske avgrensningen av hensynssonen med arealmessig tak, eller de øvrige retningslinjene som gjelder for tiltaket. Tilskuddsordningen har hatt en ønsket effekt da gjødslingsaktiviteten har tatt seg opp etter tilskuddsordningen trådte i kraft. Etatene vurderer at det er faglig grunnlag for å videreføre ordningen slik den er innrettet i dag.

Det vil være aktuelt å vurdere tilskuddsordningen på nytt om fem til ti år. Mer kunnskap om effekter på klima, vannmiljø og terrestrisk naturmangfold med det gjødslingsregimet som praktiseres i Norge kan gi grunnlag for revisjon av retningslinjene.

Klima

Det har ikke kommet ny kunnskap rundt klimaeffekten av gjødsling som endrer konklusjonen fra rapport M174-2014.

Gjennomføres skoggjødsling i friske eldre bestand (hogstklasse 4) av gran og furu med passende tetthet, omtrent 10 år før bestandet skal hogges, er økningen i stammetilveksten forventet å være ca. 1,5 m³ per dekar. Det tilsvarer et økt netto opptak av CO₂ på om lag 2,6 tonn. Resultatene fra perioden viser at aktiviteten har økt fra et årlig gjødslingsareal på under 10 000 dekar til over 60 000 dekar. Med dette aktivitetsnivået vil en kunne få et anslått årlig økt opptak på ca. 160 000 tonn CO₂.

I rapport M174-2014 ble det vist til at nitrogentilførsel ble regnet som et tiltak som kan øke karbonlagringen i jord. Men fordi resultatene var sprikende når det gjaldt effekter både på mykorrhiza (sopprot), nedbrytning av organisk materiale og strøproduksjon, ble konklusjonen at det var for stor usikkerhet til å estimere nettoeffekten av gjødsling på karbondynamikken. Siden den gang har det kommet flere studier som viser at vi kan forvente positive effekter av gjødsling på jordkarbon. Vi kan derfor i større grad konkludere med en positiv effekt på karbondynamikken i jord, men vi har fortsatt ikke kunnet kvantifisere det.

Det er utslipp fra produksjon og transport ved gjødsling av skog. Men også her står konklusjonen fra 2014; utslippene fra produksjon, transport og spredning av gjødsel er små i forhold til meropptaket i de gjødslede trærne. Det samme gjelder utslippene av lystgass og metan.

Ved gjødsling vil tømmervolumet øke per arealenhet, og sagtømmerandelen vil også øke noe. Både økt volum og høyere sagtømmerandel vil kunne gi en substitusjonseffekt som kommer i tillegg til økt netto CO₂ opptak.

Vannmiljø og hensynssonen

Etatene konkluderer med at hensynssonens geografiske utbredelse med gjødslingstak på 25 000 dekar beholdes på samme nivå som i dag. Dette er delvis begrunnet i at det er lite nye data om påvirkning på gjødslede skogområder innenfor sonen, og fortsatt begrenset kunnskap om mulige effekter av gjødsling på ferskvann og kystvann. Det er dermed ikke grunnlag for å endre konklusjonen fra rapport M174-2014.

Belastningsbildet for nitrogen innenfor hensynssonen er også omtrent på samme nivå i dag som da forrige rapport ble skrevet i 2014. Riktignok har man sett en negativ eutrofiutvikling i Oslofjorden. Store deler av nedbørfeltet til Oslofjorden ligger nord for hensynssonen. I Mjøsa har man observert en oppblomstring av blågrønnalger i to av de siste tre årene. Disse endringene kan mest sannsynlig ikke koples til skoggjødsling, og det anbefales derfor ikke å utvide hensynssonen.

Når det gjelder kommunene i Rogaland og Agder som ligger innenfor sonen ser vi at det er en forholdsvis liten andel av tilskuddsmidlene som går dit, under 10 prosent av det som blir betalt ut innenfor hensynssonen. Det anbefales allikevel ikke å fjerne hensynssonen i Rogaland og Agder da det fortsatt er belastninger fra langtransportert nitrogen, og fordi Norge gjennom langtransportkonvensjonen¹ arbeider internasjonalt for å redusere nitrogentilførselen til et område som har overskridelser av tålegrenser for nitrogentilførsel.

Kunnskapsgrunnlaget om mulige effekter av skoggjødsling på overflatevann er begrenset, spesielt for de gjødslingsregimer vi bruker i Norge. Overvåking og måling av en eventuell endring i avrenning fra gjødslede felt vil være krevende fordi mange andre forhold på gjødsfeltet og i nærområdet påvirker slike målinger. Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet bør vurdere hvordan det kan legges rette for at mer data fra avrenning fra gjødsfelt med det gjeldende gjødslingsregime er tilgjengelig til eventuell ny vurdering av hensynssone og arealtak om fem til ti år.

Naturmangfold

Etatene vurderer det som lite sannsynlig at gjødsling med dagens praksis og omfang vil gi vesentlige effekter for naturmangfold på landskapsnivå. Vi konkluderer derfor med at skoggjødslingen med de begrensninger og det omfang vi har i dag kan videreføres.

Gjødsling i skog kan gi endringer i artssammensetning og diversitet i bestandet som er gjødslet. Noe forskning tyder på at effekten av skoggjødsling kan strekke seg inn i neste omløp. Det meste av forskningen har imidlertid foregått i bestand som er gjødslet flere ganger og med større totale gjødselmengder enn i den norske ordningen.

Det er per i dag ikke forskning som viser om, og i tilfelle hvor mye og hvor lenge, det norske gjødslingsregimet vil påvirke artssammensetning og diversitet i det neste omløpet. For karplanter vil det, med engangs gjødsling, over tid trolig ikke være forskjeller mellom gjødslete og ugjødslete bestand. Økt kunnskap om eventuelle langvarige effekter er derfor ønskelig. Ikke minst fordi det er store regionale forskjeller i gjødslingsaktiviteten.

7 Referanser

- Aronson, E.L. og Helliker, B.R. 2010. Methane flux in non-wetland soils in response to nitrogen addition: a meta-analysis. *Ecology* 91, s. 3242-3251.
- Bergh, J., Nilsson, U., Allen, H.L., Johansson, U. og Fahlvik, N. 2014 Long-term responses of Scots pine and Norway spruce stands in Sweden to repeated fertilization and thinning. *For. Ecol. Manage.* 320, s. 118-128. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.02.016
- Berg, B., McClaugherty, C., 2008. Plant litter. Decomposition. Humus Formation. Carbon Sequestration. Springer Verlag, Heidelberg, Berlin, Germany.
- Bergsaker, E. 2018 Gjødslingsøkonomi. Beregning av lønnsomhet fra 3 gjødslingsforsøk. NORSKOG Rapport 2018-1. 27 s.
- Chen, H., Li, D.J., Zhao, J., Xiao, K.C. og Wang, K.L. 2018. Effects of nitrogen addition on activities of soil nitrogen acquisition enzymes: A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 252, s. 126-131.
- From, F., Strengbom, J. og Nordin, A. 2015. Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest. *Forests* 6, s. 1145-1156.
- Gundersen, P., Christiansen, J.R., Alberti, G., Brüggemann, N., Castaldi, S., Gasche, R. mfl. 2012. The response of methane and nitrous oxide fluxes to forest change in Europe. *Biogeosciences* 9, s. 3999-4012.
- Haas, J.C., Street, N.R., Sjödin, A., Lee, N.M., Högberg, M.N., Näsholm, T. mfl. 2018. Microbial community response to growing season and plant nutrient optimisation in a boreal Norway spruce forest. *Soil Biology & Biochemistry* 125, s. 197-209.
- Hanssen, K.H., Asplund, J., Clarke, N., Selmer, R. og Nybakken, L. 2020. Fertilization of Norway spruce forest with wood ash and nitrogen affected both tree growth and composition of chemical defence. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93, s. 589-600.
- Haugland, H., Backer, E.B., Løbersli, E.M., Selboe, O.-K., Gunnarsdottir, H., Granhus, A. mfl. 2014. Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak. Egnede arealer og miljøkriterier. Miljødirektoratet, Rapport M174. 143 s.
- Henriksson, N., Lim, H., Marshall, J., Franklin, O., McMurtrie, R. E., Lutter, R. mfl. 2021. Tree water uptake enhances nitrogen acquisition in a fertilized boreal forest - but not under nitrogen-poor conditions. *New Phytologist*, 10. doi:10.1111/nph.17578
- Högberg, M.N., Blasko, R., Bach, L.H., Hasselquist, N.J., Egnell, G., Näsholm, T. mfl. 2014. The return of an experimentally N-saturated boreal forest to an N-limited state: observations on the soil microbial community structure, biotic N retention capacity and gross N mineralisation. *Plant and Soil* 381, s. 45-60.
- Högberg, P., Näsholm, T., Franklin, O. og Högberg, M.N. 2017. Tamm Review: On the nature of the nitrogen limitation to plant growth in Fennoscandian boreal forests. *For. Ecol. Manage.* 403, s. 161-185.
- Högberg, P., Johannisson, C., Yarwood, S., Callesen, I., Nasholm, T., Myrold, D.D. mfl. 2011. Recovery of ectomycorrhiza after 'nitrogen saturation' of a conifer forest. *New Phytologist* 189, s. 515-525.
- Håkansson, C., Hedwall, P.O., Strömngren, M., Axelsson, M. og Bergh, J. 2021. Effects of fertilization on soil CH₄ and N₂O fluxes in young Norway spruce stands. *For. Ecol. Manage.* 499, 7 s.
- IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- Kaste, Ø., Skarbøvik, E., Clarke, N., de Wit, H. 2021. Gjødsling av skog - vurdering av eksisterende hensynssone og tak for nitrogengjødsling på bakgrunn av ny kunnskap. RAPPORT L.NR. 7663-2021. 56 s.

- Kjønaas, O Janne & Stuanes, A. O. (2008). Effects of experimentally altered N input on foliage, litter production and increment in a Norway spruce stand, Gårdsjön, Sweden over a 12-year period. *International Journal of Environmental Studies*. 65. 10.1080/00207230701862322.
- Lim, H., Oren, R., Palmroth, S., Tor-ngern, P., Mörling, T., Näsholm, T. mfl. 2015. Inter-annual variability of precipitation constrains the production response of boreal *Pinus sylvestris* to nitrogen fertilization. *Forest Ecology and Management*, 348, s. 31-45. doi:10.1016/j.foreco.2015.03.029
- Marupakula, S., Mahmood, S., Clemmensen, K.E., Jacobson, S., Högbom, L. og Finlay, R.D. 2021. Root associated fungi respond more strongly than rhizosphere soil fungi to N fertilization in a boreal forest. *Science of the Total Environment* 766, s. 11.
- Mayer, M., Prescott, C.E., Abaker, W.E.A., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G.W.D. mfl. 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *For. Ecol. Manage.* 466.
- Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet og Norsk institutt for bioøkonomi. 2016. Vern eller bruk av skog som klimatiltak. M-519. 21 s.
<http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M519/M519.pdf>
- Miljødirektoratet, Statistisk sentralbyrå og Norsk institutt for bioøkonomi. 2021. Greenhouse Gas Emissions 1990 – 2019, National Inventory Report. Report M-2013. 652 s.
- Moldan F, Jutterström SEK, Hruška J, Wright RF. 2018. Experimental addition of nitrogen to a whole forest ecosystem at Gårdsjön, Sweden (NITREX): Nitrate leaching during 26 years of treatment. *Environmental Pollution*, 242, 367-374.
- Morris, S. J., Conant, R., Mellor, N., Brewer, E., and Paul, E. A. (2010). Controls on Soil Carbon Sequestration and Dynamics: Lessons from Land-use Change. *Journal of Nematology* 42, 78-83.
- Noormets A., Nouvellon Y. (2015) Introduction for special issue: Carbon, water and nutrient cycling in managed forests. *Forest Ecology and Management* 355:1-3. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.08.022.
- Routa, J., Kilpeläinen, A., Ikonen, V.-P., Asikainen, A., Venäläinen, A. og Peltola, H. 2019 Effects of intensified silviculture on timber production and its economic profitability in boreal Norway spruce and Scots pine stands under changing climatic conditions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. DOI: 10.1093/forestry/cpz043
- Schei, F. H., Nordèn, J., Jacobsen, R. M., Bredin, Y. K. 2021. Gjødsling av skog – oppdatert kunnskap om virkning på naturmangfold. 15 s. upublisert.
- Schneider S.C., Demars B. O. L. 2020. Vannplanter i Otra oppstrøms Brokke før og nå, og hva det betyr for problemvekst av krypsiv. NIVA-rapport 7484, 39 s.
- Shrestha, R.K., Strahm, B.D. og Sucre, E.B. 2015. Greenhouse gas emissions in response to nitrogen fertilization in managed forest ecosystems. *New Forests* 46, s. 167-193.
- Solli, S. 2020. Blir miljøkriteriene for tilskuddsordningen overholdt ved gjødsling av skog? Master skogfag. Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. 53 s.
- Sponseller, R. A., Gundale, M. J., Futter, M., Ring, E., Nordin, A., Nasholm, T., and Laudon, H. (2016). Nitrogen dynamics in managed boreal forests: Recent advances and future research directions. *Ambio* 45, S175-S187
- Staalstrøm A, Walday M, Vogelsang C, Frigstad H, Borgersen G, Albretsen J, Naustvoll LJ. 2021. Utredning av behovet for å redusere tilførselene av nitrogen til Ytre Oslofjord. NIVA-rapport 7639.
- Sullivan, T. P., & Sullivan, D. S. (2018). Influence of nitrogen fertilization on abundance and diversity of plants and animals in temperate and boreal forests. *Environmental Reviews*, 26(1), 26-42.

Søgaard, Gunnhild; Allen, Micky; Astrup, Rasmus; Belbo, Helmer; Bergseng, Even; Blom, Hans, Haavardsholm; Bright, Ryan; Dalsgaard, Lise; Fernandez, Clara Anton; Gjerde, Ivar; Granhus, Aksel; Hanssen, Kjersti Holt; Kjønnaas, O. Janne; Nygaard, Per Holm; Stokland, Jogeir; Sætersdal, Magne. 2019. Effekter av planting av skog på nye arealer. Betydning for klima, miljø og næring. NIBIO-rapport 5, 86 s.

Tahovska, K., Choma, M., Kastovska, E., Oulehle, F., Barta, J., Santruckova, H. mfl. 2020. Positive response of soil microbes to long-term nitrogen input in spruce forest: Results from Gardsjon whole-catchment N-addition experiment. *Soil Biology & Biochemistry* 143, s. 15.

Tamm, C. O. (1991). "Nitrogen in terrestrial ecosystems. Question of productivity, vegetational changes, and ecosystem stability. *Ecological studies* 81. pp 1 - 113.," Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Van Sundert, K., Linder, S., Marshall, J. D., Nordin, A., & Vicca, S. (2021). Increased tree growth following long-term optimised fertiliser application indirectly alters soil properties in a boreal forest. *European Journal of Forest Research*, 140(1), 241-254.

Vennesland, B., Hohle, A. E., Kjøstelsen, L., Gobakken, L. 2013. Prosjektrapport Klimatre. Energiforbruk og kostnader - Skog og bioenergi. Rapport fra Skog og landskap 14, 78 s

Zak, D. R., Freedman, Z. B., Upchurch, R. A., Steffens, M., and Kogel-Knabener, I. (2017). Anthropogenic N deposition increases soil organic matter accumulation without altering its biochemical composition. *Global and Planetary Change* 23, 933-944.

Zhou, Z. H., Wang, C. K., Zheng, M. H., Jiang, L. F., and Luo, Y. Q. (2017). Patterns and mechanisms of responses by soil microbial communities to nitrogen addition. *Soil Biology & Biochemistry* 115, 433-441.

8 Vedlegg

8.1 Notat fra NINA/NIBIO

Gjødsling av skog – oppdatert kunnskap om virkning på naturmangfold

Utarbeidet av Fride Høistad Schei, Jenni Nordén, Rannveig M. Jacobsen og Yennie K. Bredin

I. Innledning

1.1 Bakgrunn

Landbruks- og matdepartementet (LMD) har i samarbeid med Klima- og miljødepartementet (KLD) gitt Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og NIBIO i oppgave å evaluere ordningen med gjødsling av skog som ble etablert i 2016. Dette er en oppfølging av klimameldingen, Meld. St. 13 (2020-2021), Klimaplan for 2021-2030. Den nærmere beskrivelsen av oppgaven følger nedenfor. Bakgrunnen for dette er oppfølgingen av Meld. St. nr. 21 (2011-2012) Norsk klimapolitikk, der KLD ba

Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet og Norsk institutt for skog og landskap (nå NIBIO) om å utrede gjødsling av skog som klimatiltak. Dette resulterte i rapporten: Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier (M174-2014,

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M174/M174.pdf>), fremlagt i 2014 (heretter referert som Haugland m. fl. 2014). Rapporten ga en omforent, faglig anbefaling av hvilke skogarealer som egner seg for målrettet gjødsling etter en avveining mellom hensynet til klima, naturmangfold og andre miljøverdier og næring. Rapporten inneholdt også råd til departementene om hvilke miljøkriterier som bør ligge til grunn for skoggjødsling som klimatiltak, samt hvilke virkemidler som må til for at gjødslingen skal bli gjennomført. Av den ferske klimameldingen (Meld. St. 13 (2020-2021), Klimaplan for 2021-2030) går det også fram at ordningen for tilskudd til gjødsling av skog skal vurderes i 2021. Det er derfor behov for å vurdere om det er kommet ny forskning, dvs. etter at tilskuddsordningen ble etablert, som eventuelt burde få betydning for utformingen av ordningen. Dette er derfor gitt som et felles oppdrag til NIBIO, Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet, der

Landbruksdirektoratet leder arbeidet. Etatene skal bidra til arbeidet på områder hvor det er naturlig ut fra de respektive etatenes faglige kompetanseområder, og komme fram til en omforent besvarelse. Som ledd i dette arbeidet har Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet gitt en bestilling til NINA og NIBIO knyttet til effekter på terrestrisk naturmangfold.

1.2 Oppgavebeskrivelse

Miljøeffektene av nitrogengjødsling vil avhenge av hvor og hvordan tiltaket gjennomføres. Nitrogentilførsel vil øke tilveksten, men kan også gi opphav til uønskede effekter på naturmangfold som følge av økt biomasseproduksjon og endret konkurranseforhold mellom planter og andre organismer. Siden arealene som vurderes som mest aktuelle for gjødsling, vil avvirkes etter om lag 10 år etter at gjødsling er gjennomført, er det tidligere lagt til grunn at merbelastningen av gjødsling på terrestrisk miljø for hvert enkelt bestand er relativt liten sammenlignet med den påvirkning skogøkosystemet vil få som følge av hogst og påfølgende foryngelsestiltak. Med utgangspunkt i at det er begrensede arealer med produksjonsskog som er aktuelle å gjødsle, og at miljøkriteriene for den etablerte ordningen følges, har vurderingen tidligere vært at det anses som lite sannsynlig at

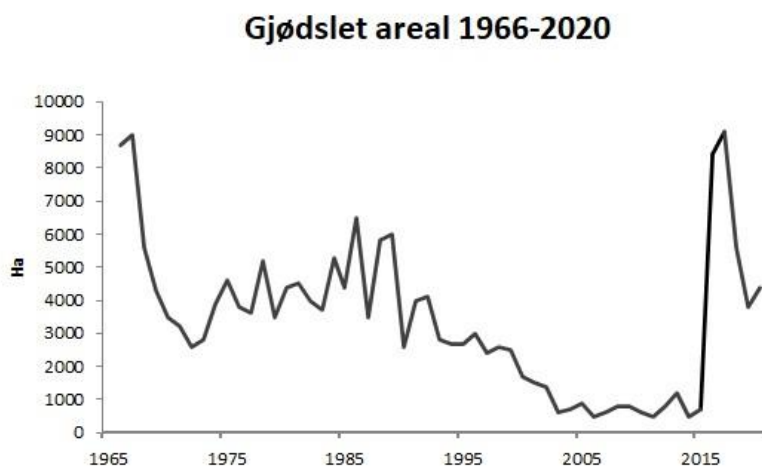
endringer på bestandsnivå vil få vesentlig betydning på landskapsnivå både for trua og sårbare arter og naturtyper, og for mer vanlig forekommende arter og naturtyper. Det er tidligere ikke vurdert mer langsiktige effekter av gjødsling på skogsjordens naturmangfold.

Utgangspunktet for bestillingen er rapporten til Haugland m. fler (2014). Oppdraget går ut på å gjennomgå ny forskning, dvs. etter at tilskuddsordningen ble etablert, på ev. virkninger av nitrogentilførsel i skog på terrestrisk naturmangfold. Hovedproblemstillingen er å foreta en gjennomgang av den kunnskapen som er reflektert i litteratur publisert etter 2014 og vurdere om dette endrer på hovedkonklusjonene i den ovennevnte rapporten fra 2014. Oppsummeringen skal omfatte eventuelle virkninger og varighet, ikke bare for trua og sårbare arter og naturtyper, men også generelle vurderinger knyttet til økologisk tilstand i hovedøkosystemet skog på nasjonalt og regionalt nivå. Avgrensingen av hvilken type skog som er aktuell for gjødsling, som derfor er fokus for oppdraget, er gitt i [Tilskudd til gjødsling av skog som klimatiltak - Landbruksdirektoratet](#).

2. Gjødsling i skog og påvirkning på naturmangfold

2.1 Innledning

I boreal skog er nitrogen den enkeltfaktoren som i størst grad begrenser trærnes vekst. Gjødsling med nitrogen gir en rask effekt på tilvekst hos trær og er derfor ansett som et effektivt klimatiltak. Skoggjødsling har vært lite brukt i senere tid i Norge (Nilsen 1999), men har blitt vesentlig vanligere etter innføringen av tilskudd til gjødsling som klimatiltak (se Figur 1).



Figur 1: Hektar gjødslet skog i Norge pr år fra 1966-2020, kilde: Statistisk sentralbyrå.

Skoggjødsling i Norge utføres i hovedsak med 150 kg N per ha, som en engangsdose ca_10 år før hogst. Tilskudd til skoggjødsling er begrenset til egnede arealer på vegetasjonstypene blokkebærskog, bærlyngskog, blåbærskog, småbregneskog, storebregneskog og på torvmark med etablert foryngelse. Det stilles også krav til at arealet skal ha midlere bonitet (F8-F17 og G8-G20), at andel lauv skal være under 20 % og at andel lavdekning skal være under 50 %. Areal som kan gjødsles har også avstandsbegrensninger i forhold til verdifulle miljøforekomster, vann og vassdrag.

Mellom 2016-2020 ble det gjødslet mellom 37 564 og 91 041 dekar pr år, med et årlig gjennomsnitt på 62 506 (Statistisk sentralbyrå). Norge har 8 582 000 ha produktiv skog (skogbruk.nibio.no), noe som gjør at årlig gjødslet areal ligger på 0,07 % av den produktive skogen.

I Norge utgjør vegetasjonstypene blokkebær-, bærlyng- og blåbærskog nesten 13,5 millioner dekar, og småbregne- og storbregneskog 2,6 millioner dekar (Haugland m. fler 2014). Ut fra beregningene til Haugland m. fler (2014) er gjeldende potensielt arealomfang av vegetasjonstypen blokkebær-, bærlyng- og blåbærskog, som tilfredsstillende kravene for gjødsling, på 50 000-100 000 dekar per år, noe som tilsvarer opp til 0,7 % av det totale arealet av disse skogstypene. Gjødslingseffekten er ønsket og forventet å vare frem til hogst, noe som gjør at arealet med effekter av gjødsling vil øke kumulativ med tid (7 % etter 10 år). I tillegg, viser nå en ny studie av From m. fler (2015) at effekten trolig vil vare vesentlig lengre; 25 år etter siste gjødsling fant de ennå en økt tilvekst hos trær, høyere konsentrasjoner av nitrogen i nålene og høyere nitrogenverdier i jorden. Dette viser at gjødsling av skog har en påvirkning på økosystemet som går over en mye lengre periode enn tidligere antatt og dermed vil påvirke et større arealer til enhver tid, enn tidligere antatt.

De fleste boreale økosystemene er ansett som nitrogen-begrenset (Binkley & Högberg 2016) og gjødsling av skog vil ikke bare påvirke trærne, men hele økosystemet. En må derfor vurdere om tiltak som legger til rette for endringer av en så viktig økologisk faktor kan ha påvirkning på det biologiske mangfoldet, med potensial for kaskadeeffekter gjennom økosystemet (Clark m. fler 2017).

Målet med denne utredningen har vært å gjennomgå relevant kunnskap som er publisert etter 2014 og vurdere dette opp mot rapporten til Haugland m. fler (2014). Vi ønsket å fokusere på studier som var sammenlignbare med forhold i Norge, både når det kom til gjødseltype, mengde, hyppighet og skogtype, men på grunn av begrensninger i tilgjengelig litteratur har vi valgt å inkludere flere studier som ikke tilfredsstillende disse kravene, men som hadde resultater som ble ansett som relevant.

2.2 Litteraturgjennomgang

Vi har valgt å dele inn litteraturgjennomgangen i tre deler:

1. Gjødsling av skog - påvirkning på fauna.
2. Gjødsling av skog - påvirkning på karplanter og bakkelevende mose og lav.
3. Gjødsling av skog - påvirkning på arter under bakken (deriblant sopp og bakterier)

Selv om det er ønskelig å fokusere på studier der gjødslingsregime og skogtype er sammenlignbart med norsk standard for gjødsling (150 kg N per ha som engangsdose ca. 10 år før hogst, se avsnitt 2.1 for flere detaljer), så er kunnskapsgrunnlaget såpass begrenset at vi har valgt å ha hovedfokus på de studiene som er utført i land med sammenlignbar natur og klima (Tabell 1).

Litteratursøket fant kun fire artikler som omhandlet fauna, hvorav kun en ble ansett som relevant (Rodriguez m. fler2021). I tillegg ble to review-artikler som også omhandlet effekter av nitrogenavsetning på fauna vurdert (Nijssen m. fler2017, Sullivan & Sullivan 2017).

Litteratursøket fant totalt fem nye studier som omhandler gjødslingseffekter på karplanter og bakkelevende moser og lav. De inkluderte studiene er en artikkel (Jacobson m. fler 2020), to reviewartikkel (Binkley & Högberg 2016, Sullivan & Sullivan 2017), en svensk rapport (Högberg m. fler 2014a) og en masteroppgave fra NMBU (Lorentzen 2017). Den svenske rapporten av Högberg m. fler (2014a) er basert på studier publisert før 2014 og er derfor ikke prioritert i denne litteraturgjennomgangen.

Litteratursøket fant totalt 9 nye studier som omhandlet gjødslingseffekt på biologisk mangfold under bakken. De inkluderte studiene er alle artikler (Högberg m. fler 2014, Berthrong m. fler 2014, Colombo m. fler 2016,

Choma m. fler. 2017, Haas m. fler 2018, Addison m. fler 2019, Tahovská m. fler 2020, Marupakula m. fler 2021, Van Sundert m. fler 2021)

2.2.1 Gjødsling av skog - påvirkning på fauna

Nijssen og kolleger (2017) oppsummerer effekter av høy nitrogenavsetning på fauna i ulike økosystemer, blant annet skog. Artiklene fra skogøkosystemer er publisert før 2014, men vi velger å nevne noen av effektene her, da Nijssen m. fler (2017) gir eksempler på generelle mekanismer for effekter av økt nitrogenavsetning på fauna. De siterer flere eksempler på redusert tilgjengelighet av kalsium ved høy nitrogenavsetning, med negative effekter på for eksempel snegler (snegleskall) og fugler (eggeskall). I næringsfattige skoger var det også eksempler på at økt tilgjengelighet av nitrogen i forhold til mineraler førte til lavere syntese av aminosyrer i planter og dermed mindre protein i plantekosten til herbivore invertebrater, hvilket forplantet seg i næringskjeden til insektivore fugler og rovfugler som fikk reduserte flygemuskler og dårlig eggutvikling. Nijssen m. fler (2017) vurderte riktignok nitrogenavsetning generelt, ikke skoggjødsling spesielt.

Sullivan & Sullivan (2017) oppsummerer mange relevante artikler som omhandler effekter av skoggjødsling på fauna, men dette er artikler publisert før 2014 og grunnet begrensningene ved vårt oppdrag har vi dessverre ikke mulighet til å gå nærmere inn på enkeltartiklene. Vi rapporterer derfor her kun de generelle slutningene Sullivan & Sullivan (2017) trekker basert på sin gjennomgang av litteraturen. De nevner blant annet at økt næringsinnhold (proteiner) i plantekosten flere ganger er rapportert å gi en positiv effekt på herbivorer som forplanter seg oppover i næringskjeden til rovdyr. I noen tilfeller er effekten på rovdyr kun rapportert som deres økte bruk av gjødslede vs. ugjødslede bestand. De fleste av disse studiene kommer riktignok fra Nord-Amerika. Sannsynligvis vil det være relevante forskjeller i gjødslingsregimet i mange av disse studiene i forhold til det norske gjødslingsregimet, men dette har vi ikke mulighet til å oppsummere i denne rapporten. Utover dette påpeker Sullivan & Sullivan (2017) at responsen til jordfauna på skoggjødsling er variabel og svært kontekstavhengig, mens det generelt er lite studier på invertebrater og fugler.

Rodriguez og kolleger (2021) har studert effekter av skoggjødsling i Sverige på løpebiller (Carabidae), (se Tabell 1). Løpebiller er vanlig forekommende i barskog og bidrar til økosystemtjenester som skadedyrkontroll. De har ofte blitt brukt som bioindikatorer, også for effekter av skogforvaltning. Eksperimentet studert i Rodriguez m. fler (2021) er utført i blåbærgranskog på rundt 30 år, alle bestand er fornyet etter flatehogst med markberedning og tynning. Eksperimentet omfatter 21 bestand, der 11 var ugjødslede kontroller og 10 ble gjødslet med 125-150 kg N per ha annethvert år fra 2012 til 2016 (tre år med gjødsling totalt). Løpebiller ble samlet med fallfeller, i praksis seks per bestand, i løpet av medio mai til medio september 2016. I tillegg ble effekter på skogstruktur og bakkevegetasjon registrert.

Gjødslede bestand hadde større stammegrunnflate av gran og høyere rikhet av urteplanter, mens ugjødslede bestand hadde høyere dekning av moser, røsslyng og blåbærlyng (Rodriguez m. fler 2021). Det var ingen forskjell i total artsrikhet av løpebiller mellom gjødslede og ugjødslede bestand, men Simpsons diversitet og funksjonell diversitet var henholdsvis 1.5 og 1.2 ganger høyere i ugjødslede bestand. Funksjonell diversitet ble regnet ut på bakgrunn av 12 funksjonelle trekk tilknyttet spredning, næring, fenologi, habitatpreferanse og livshistorie. Gjødslede bestand var dominert av løpebillearter som generelt var større, reproduserte om sommeren og var rovdyr uten spesialisering (generalist-rovdyr). Kontrollbestandene hadde derimot løpebillearter som representerte større variasjon for alle disse funksjonelle trekkene.

Gjødsling førte dermed til en funksjonell homogenisering av løpebillesamfunnet, som Rodriguez med kolleger (2021) mente i hovedsak var drevet av en økt kronetetthet av gran og dermed lavere solinnstråling, hvilket både påvirket løpebillene direkte og via effekter på plantesamfunnet. I tillegg var betadiversiteten

lavere innen hvert bestand der det ble gjødslet, hvilket indikerte at gjødsling gjorde miljøforholdene innen bestandene likere.

2.2.2 Gjødsling av skog - påvirkning på karplanter og bakkelevende moser og lav.

Sullivan & Sullivan (2017) sammenstilte 34 studier som omhandlet effekt av gjødsling på karplanter og bakkelevende moser og lav. Studiene hadde stor variasjon i skogtype (hovedsakelig boreal og temporal skog), gjødselsmengde (42-3500 kg N/ha), antall gjødslinger (1 til 28 ganger) og tidsperiode (1-30 år). De kom med en overordnet konklusjon om at gjødsling av skog førte til endringer i artssammensetning av karplanter og bakkelevende moser og lav. De viste at rasktvoksende og nitrogenkrevende planter som gress og enkelte urter ofte fikk en fordel av nitrogengjødsling og dermed økte i dekningsgrad, mens dvergbusker (f.eks. blåbær), moser og lav ofte fikk en negativ påvirkning av nitrogengjødsling som førte til en nedgang i dekningsgrad. De konkluderte også med at nedgangen i dekningsgrad hos dvergbuskene trolig var styrt av konkurranse med andre arter og endring i lysforhold.

Sullivan & Sullivan (2017) gjorde også en sammenstilling for å kunne si noe om effekten av antall gjødslinger, dette ble bare gjort for vaskulære planter og ikke for mose eller lav. Denne sammenligningen viste at en enkelt gjødsling i hovedsak førte til en økning eller ingen endring i

dekningsgrad, og ingen endring i artsrikhet eller diversitet. De gjorde også en sammenstilling for å kunne si noe om hvor lenge etter siste gjødsling bakkevegetasjonen var påvirket, men dette ga ikke et entydig resultat. De konkluderte med at gjentatt gjødsling vil føre til endringer i artssammensetningen av karplanter mot en mer nitrogenkrevende vegetasjon, men at ved færre gjødslinger (1-2 ganger) kan effektene på karplanter trolig reverseres over tid.

Jacobson m. fler (2020) studerte tidligere gjødslet skog for å se om gjødselsmengde og tid siden gjødsling kunne forklare dekningen av vaskulære planter og bakkelevende mose og lav (se Tabell 1). Studiet omfattet 11 studieområder med monokultur av furu, *Pinus sylvestris*, langs en sør-nordgradient i Sverige. Studieområdene hadde ulike gjødslingsregimer både med tanke på mengde pr gjødsling (120-250 kg N/ha), total gjødslingsmengde (120-1000 kg N/ha), antall gjødslinger og tid siden siste gjødsling (10-34 år). Jacobson m. fler (2020) fant høyere dekning av dvergbusker og moser i ruter som tidligere hadde blitt gjødslet enn i ruter som ikke har blitt gjødslet, og de fant et mindre dekke av lav i tidligere gjødslede ruter enn ugjødslede ruter.

Lorentzen (2017) studerte i sin masteroppgave et gjødslingseksperiment hvor det ble gjødslet med 150 kg N/ha hvert år i en 13 år lang periode og sammenlignet dette med ugjødslede kontrollruter for å undersøke effektene av gjødsling på bakkevegetasjonen i norsk boreal skog (se Tabell 1).

Resultatene viste et skifte i artssammensetning i tillegg til en nedgang i vegetasjonsdekningen. Gress responderte positivt til gjødsling, mens dvergbusker og større moser ble negativt påvirket av gjødsling. Resultatene fra dette studiet omfatter gjentatt gjødsling over 13 år, og vil ikke være direkte sammenlignbart med vanlig norsk gjødslingsregime.

2.2.3 Gjødsling av skog - påvirkning på biologisk mangfold under bakken

Boreal skogsjord har naturlig et lavt nitrogennivå. Det er en tilstand som de tusenvis av naturlig forekommende artene i skogsjorden - deriblant sopp, bakterier, jorddyr og andre mikro- eller makroorganismer i jord, - har tilpasset seg. Ytterligere nitrogen fra utenfor økosystemet forventes derfor å påvirke de naturlig forekommende samfunnene. Generelt forventes det at miljøendringer, som tilførsel av nitrogengjødsel, i større grad vil påvirke arter som er spesialiserte til forhold der miljøet (f.eks. nitrogentilgjengelighet eller temperatur) begrenser mer ruderales, opportunistiske generalistarter. Ekstern

nitrogentilførsel påvirker jordsamfunnet direkte gjennom endret egnetheten til jorda som habitat (nitrogentilgjengelighet, karbon:nitrogen-forhold, forsuring, etc.), og endrede konkurranseforhold mellom arter når de nitrogenelskende artene som lett kan gjøre nytte av ekstra nitrogen vokser raskere eller får det lettere å etablere seg (Mulder m. fler 2013). Indirekte påvirkninger kommer gjennom endringer i plantesamfunn og plantefysiologiske responser på bedre nitrogentilgjengelighet, som involverer lavere transport av karbon til mykorrhizapartnere og inn i jorda (Högberg m. fler 2010).

Mykorrhizasopper, f.eks. slørsopper, kantareller, kremler, og risiker, lever i symbiose med skogstrær, og er en veldig artsrik organismegruppe i boreal skog. For disse forventer vi oss en betydelig nedgang både i artsrikdom og diversitet, samt fruktlegemeproduksjon. Det er usikkert om dette kan påvirke trærnes produksjon på lang sikt. Mykorrhizasopper er forventet å avta mer enn nedbrytersopper pga. mindre karbon fra trepartnere etter gjødsling. Når trærne har bedre tilgang til nitrogen pga. gjødsling, transporterer de mindre karbon til mykorrhizasopper. Nedbrytersopper er forventet å avta mindre siden de ikke er avhengige av trær for karbon (Tarvainen m. fler 2016, Choma m. fler 2017, Marupakula m. fler 2021).

Gjødsling kan forårsake at vippepunkter i mykorrhizasamfunn vil bli passert. Vippepunkter betyr et forhold der det etter en viss terskelnivå skjer et stort skifte i samfunnet, som kan påvirke økosystemets tilstand, funksjoner og resiliens, og som kan være vanskelig å reversere. Slike vippepunkter er avhengige av treslag, det typiske mykorrhizasamfunnet i skogøkosystemet, og i mindre grad av klima og jordegenskaper. Økosystemer med lav artsrikdom og lav funksjonell diversitet ser ut til å være særlig sårbare og går lettere enn andre over vippepunkt (van der Linde m. fler 2018, Almeida m. fler 2019, Suz m. fler 2021).

I en europeisk studie, fant man et vippepunkt rundt 5-6 kg nitrogenavsetning per ha per år. Større tilførsel av nitrogen til økosystemet vil medføre at nitrogenfølsomme mykorrhiza-arter avtar (van der Linde m. fler 2018, Suz m. fler 2021). Denne terskelen er veldig lav i forhold til den anbefalte dosen av nitrogengjødsling i Norge. Nitrogengjødsling i Norge er gjort med en høy engangsdose en gang under rotasjonsperioden, men tilført nitrogen vil forbli i økosystemet over 10 år, og mest sannsynlig påvirker de nitrogenfølsomme artene, som vist av studiene beskrevet nedenfor.

Biodiversitet er knyttet til økosystemprosesser og funksjoner (Bardgett & van der Putten 2014), og gjødselinduserte endringer i biologisk mangfold kan derfor føre til funksjonelle endringer i samfunn og økosystem. Næringsnettverkene kan bli endret (Maaroufi m. fler 2018), og særlig de laveste trofiske nivåene - planter, sopper og bakterier - blir påvirket. Bakteriedrevne nedbrytningsveier kan bli sterkere enn soppdrevne, noe som kan føre til økende nitrogenlekkasje og N₂O utslipp (Maaroufi m. fler 2018).

Bevis fra agroøkologiske systemer tyder på at sjeldne taxa kan ha en overproporsjonal rolle i biologiske prosesser og multifunksjonaliteten til et økosystem (Chen m. fler 2020).

Multifunksjonaliteten inkluderer flere økosystemfunksjoner som næringscyklus, nedbrytning, klimaregulering og jordens fruktbarhet. Derfor kan det å bevare mangfoldet av jordmikrobielle samfunn, spesielt de sjeldne mikrobielle taxaene, være avgjørende for bærekraftig levering av økosystemfunksjoner i fremtiden.

Nedenfor følger en kort beskrivelse av relevante studier om gjødslingseffekter under bakken som ble publisert etter 2014 (Tabell 1).

Studien av Marupakula m. fler (2021) brukte en gjødslingsdose relevant i norsk sammenheng (150 kg per ha per år), som engangsdose. 15 måneder etter gjødsling av en furuskog var artsrikdommen av rotassosierte sopp redusert i alle jordlag. For jordsopp (mykorrhiza- og saprotrofe sopper) ble artsrikdommen økt i den organiske jorden, men upåvirket i mineraljorden.

Samfunnssammensetningen av både rotassosierte og jordsopper ble påvirket av nitrogentilførselen.

Ektomykorrhiza-samfunnets sammensetning i både røtter og i jord ble påvirket av gjødsling. Sammensetningen av samfunn av saprotrofe sopp ble ikke endret.

I en svensk granskog reduserte nitrogengjødsling over 46 år den relative abundansen av ektomykorrhiza-arter i sopp-samfunnet og undertrykte de opprinnelig dominerende artene som er tilpasset nitrogenbegrensede forhold, mens ektomykorrhiza-diversiteten forble upåvirket (Choma m. fler 2017). 23 år etter avsluttet gjødsling, flyttet den relative abundansen av ektomykorrhiza-arter seg nærmere kontrollnivåene, men nådde ikke dem. Choma m. fler (2017) konkluderte med at gjenoppretting av ektomykorrhiza-samfunnet skjer langsomt, sannsynligvis på grunn av høy nitrogenretensjonskapasitet i jord.

Forholdet mellom ektomykorrhizasopp og bakterier avtok tydelig med gjødsling i svensk furuskog, og biomassen til ektomykorrhizasopp i organisk materiale holdt seg lavere enn i kontrollfeltene 20 år etter endt gjødselbehandling (Högberg m. fler 2014). Biomassen til ektomykorrhizasopp etter arealenhet hadde delvis kommet seg igjen 20 år etter endt behandling, men det var indikasjoner på at bakteriebiomassen forble høy, spesielt i forhold til biomassen av ektomykorrhizasopp.

Et næringsstoffoptimeringsforsøk (inkl. nitrogen) i en svensk granskog påviste økt artsrikdom og verdier av Shannon diversitetsindeks etter 5 og 25 års gjødsling (Haas m. fler 2018). Jordsopp- og bakteriesamfunn ble påvirket raskere enn rotassosierte samfunn. Påvirkningen på naturlig forekommende biologisk mangfold var på flere måter negativ. Oligotrofe taksa avtok, mens kopiotrofe taksa som lett bruker uorganisk nitrogen og er tilpasset redusert underjordisk karbonallokering av planter, økte i relativ abundans. Arter av ektomykorrhizasopp som er tilpasset et lavt nitrogennivå eller med rikelig ekstramatrisk mycel av middeldistanseutforskningstypen avtok i abundans, slik som de viktige skogsoppslektene *Cortinarius* og *Piloderma* (Haas m. fler 2018). På samme måte ble ericoide mykorrhizale hyfer av Leotiomycetes også redusert. På den annen side økte nitrofile taxa, som *Tylospora* og *Pseudotomentella*, i abundans. For bakterier, særlig for arter med kapasitet til å fikserer nitrogen, avtok abundansen i både jord- og rotprøver, mens slekten *Streptomyces* og andre kopiotrofe bakterier økte i abundans. Haas m. fler (2018) foreslo som en viktig mekanisme bak endringene i samfunnskompositionen en redusert allokering av karbon fra trær til ektomykorrhizasopp. De konkluderte med at gjødslingsbehandlingen har betydelige effekter på mangfold og sammensetning av underjordisk jord og rotassosierte sopp- og bakteriesamfunn, som vil påvirke prosesser assosiert med karbon- og nitrogenkretsløpene i jorda.

Almeida m. fler (2019) så betydelige endringer etter gjødsling i mykorrhiza-samfunnene i en svensk granskog. Tettheten av fine hyfer ble redusert. De viser at nitrogenbegrenset skog vil etter gjødsling skifte til fosforbegrensning, hvilket gjenspeiles i trevekst, nålens næringsinnhold og i endringer i biomasse og samfunnssammensetning av ektomykorrhizasopp. Almeida m. fler (2019) antyder at gjødselinduserte endringer kan påvirke skogens karbonlagre, skogens helse og biomasseproduksjon.

I tråd med de andre studiene beskrevet her, har Tahovská m. fler (2020) oppdaget i en svensk granskog at sopp-samfunnets sammensetning skiftet til mer nitrofile ektomykorrhizasopp (kontakt- og kortutforskningstype ektomykorrhiza-arter) og saprotrofer, og en delvis relativ nedgang (20–30 %) av nitrofober ektomykorrhizasopp med store ytre mycelier. I motsetning til andre studier fant de at gjødsling førte til større mikrobiell biomasse i jorda, og at nitrogentilsetningen ikke endret forholdet mellom sopp og bakterier. Men i tråd med annen forskning økte andelen av kopiotrofer i bakteriesamfunnet.

I likhet med studiene ovenfor har også Addison m. fler (2019) vist for New Zealand *Pinus radiata* skoger at tilsetning av gjødsel resulterer i betydelige endringer i både bakterie- og sopp-samfunn som de understreker er langvarige. I en studie utført i Eucalypt-skog i Australia, avtok bakteriediversitet og abundans med gjødsling, men rikdommen ble ikke påvirket (Colombo m. fler 2016). Bakteriesamfunn i gjødslet jord var åpenbart forskjellige fra de andre behandlingene og kontrollen. Bakteriell rikdom og abundans spådde i betydelig grad jordprosesser.

Bakterier har viktige roller i økosystemet knyttet til nitrogen og karbon syklusene (Lladó m. fler 2017). Bakteriesamfunnene blir påvirket av gjødsling (Berthrong m. fler 2014), men her er det store kunnskapshull

som gjør det vanskelig for oss å vurdere effektene av nitrogentilførsel på konkurranseforhold mellom arter, den funksjonelle diversiteten, og resiliensen til bakteriesamfunnene.

2.3 Vurdering av mulige effekter på økologisk tilstand for skog

Fagsystem for økologisk tilstand er basert på en sammenligning av dagens økologiske tilstand med en referansetilstand i et intakt økosystem med minimal menneskelig påvirkning. Økologisk tilstand vurderes ut fra sju grunnleggende egenskaper; (1) primærproduksjon, (2) funksjonelt viktige arter og biofysiske strukturer, (3) fordeling av biomasse mellom trofiske nivåer, (4) funksjonell sammensetning innen trofiske nivåer, (5) landskapsøkologiske mønstre, (6) biologisk mangfold, og (7) abiotiske faktorer (Nybø & Evju 2017). For økosystemet skog er det så funnet 13 tilstandsindikatorer som reflekterer seks av disse sju egenskapene (ingen gode indikatorer er foreløpig funnet for funksjonell sammensetning innen trofiske nivåer): (1) NDVI, (2) Ellenberg N, (3) Ellenberg F, (4) fravær av fremmede arter, (5) blåbærdekning, (6) volum av rogn, osp og selje, (7) mengde død ved totalt, (8) mengde grov død ved, (9) areal biologisk gammel skog, (10) bestandsnivå hjortedyr, (11) bestandsnivå rovdyr, (12) naturindeks for skog, og (13) arealandel uten tekniske inngrep (Framstad m. fler2021).

Hvorvidt skoggjødsling vil påvirke skogens økologiske tilstand i henhold til dette fagsystemet, avhenger av hvorvidt disse indikatorene vil påvirkes signifikant regionalt eller nasjonalt. Det igjen avhenger selvsagt av hvorvidt indikatoren er sensitiv til nitrogengjødsling, men også i hvilken grad og på hvilke arealer det gjødsles. Her vurderer vi i hovedsak kun hvorvidt de ulike indikatorene vil påvirkes av nitrogengjødsling, uten å kunne vurdere styrken i responsen.

Vi anser følgende indikatorer for å ikke være utsatt for påvirkning fra skoggjødsling etter gjeldende standard for norsk skog; Ellenberg F, grov død ved (ingen forventet endring, ettersom det kun gjødsles i områder som skal hogges), areal biologisk gammel skog, bestandsnivå rovdyr (riktignok mulig med indirekte effekter via hjortedyr, men bestandsnivå per i dag er i hovedsak politisk styrt), og arealandel uten tekniske inngrep. Sannsynligvis vil en eventuell effekt på rogn, osp og selje være marginal, siden gjødsling etter gjeldende standard vil foretas i eldre hogstklasser. Men vi kan ikke utelukke at det vil kunne være en resteffekt av gjødslingen på hogstflaten som potensielt kan påvirke oppslag av rogn, osp og selje. Effekten på fremmede arter, og dermed indikatoren for fravær av fremmede arter, er også vanskelig å forutsi, da dette avhenger av de aktuelle fremmede karplantenes affinitet for nitrogen. Allikevel er det foreløpig så lav forekomst av fremmede plantearter i norsk skog (med unntak av fremmede bartrær på Vestlandet og i Nord-Norge), at en gjødslingseffekt på fremmede arter er usannsynlig i nærmeste framtid. Vi anser det også som usannsynlig at skoggjødsling vil ha en signifikant effekt på total mengde død ved, siden arealene som gjødsles uansett skal hogges, men det kan potensielt gi en viss økning i volumet av død ved i form av greiner, topper og stubber. Derimot forventer vi ikke en økning i mengde grov død ved, siden stammer og større virke vil fjernes fra hogstflaten.

Følgende indikatorer er det derimot sannsynlig at skoggjødsling vil påvirke; NDVI, Ellenberg N, blåbærdekning og naturindeks for skog. Definisjon og datakilde for disse indikatorene er som følger;

- NDVI; indeks for forholdet mellom rødt lys og nær-infrarød stråling, som er nært korrelert med mengde grønn vegetasjon, og dermed tett koblet til primærproduksjon. Basert på data fra MODIS-satelliten.
- Ellenberg N; indeks basert på karplantearters tilknytning til mengde tilgjengelig organisk nitrogen i jord, der lave verdier betyr at en art foretrekker nitrogenfattig jord, mens høye verdier betyr at en art foretrekker nitrogenrik jord. Basert på data fra den arealrepresentative naturovervåkingen (Tingstad m. fler2019).

- Blåbærdekning; arealandel av skogbunnen som er dekket av blåbærplanter, basert på data fra Landsskogstakseringen.
- Bestandsnivå hjortedyr; bestand av elg og hjort per km², data hentet fra hjorteviltovervåkingen (www.hjortevilt.no).
- Naturindeks for skog; samlet indikator for artsmangfoldet basert på naturindeksens verdi for skog (Jakobsson & Pedersen 2020).

For NDVI og Ellenberg N kan både lave og høye verdier indikere avvik fra god økologisk tilstand, og det er derfor beregnet både nedre og øvre grenseverdier for avvik fra referansetilstanden. For lave verdier av NDVI kan for eksempel skyldes avvaskning, mens for høye verdier kan skyldes økt produktivitet grunnet klimaendringer eller overgjødning. For lave verdier av Ellenberg N kan skyldes nitrogenmangel som følge av biomasseuttak eller endringer i nitrogenzyklusen, mens for høye verdier av Ellenberg N kan indikere eutrofiering som følge av for høy nitrogenavsetning (atmosfærisk og/eller via gjødning).

Vurdering av potensielle effekter av skoggjødning;

- **NDVI**; skoggjødning er forventet å øke indikatorens verdi

- o Som et tiltak for økt tilvekst vil det være å forvente at skoggjødning vil øke primærproduksjon og dermed NDVI for gjødslede arealer.

- o Både nedre og øvre indikatorverdi for NDVI ligger et godt stykke over grenseverdien for god økologisk tilstand (Framstad m. fl. 2021), så med mindre gjødning utført i stor skala er det usannsynlig at denne indikatorene for økologisk tilstand vil bli påvirket i en grad som slår ut på samlet vurdering av økologisk tilstand i skog. Allikevel kan gjødning av arealer med en per i dag høy NDVI i forhold til forventningen for referansetilstanden gi en redusert økologisk tilstand. Motsatt kan gjødning av arealer med en per i dag lav NDVI i forhold til forventningen for referansetilstanden gi en bedret økologisk tilstand

- **Ellenberg N**; skoggjødning er forventet å øke indikatorens verdi

- o I rapporten for tilstand i skog i 2020 ble den øvre skalerte indikatorverdien for Ellenberg N vurdert til å ligge litt over grenseverdien for god økologisk tilstand. Det vil si at det ikke var tegn på betydelig eutrofiering generelt sett i norsk skog (Framstad m. fl. 2021). Skalert nedre indikatorverdi for Ellenberg N var derimot litt under grensen for god økologisk tilstand, hvilket vil si at det var tegn til mindre nitrogenliggang enn forventet i norsk skog samlet sett.

- o Dersom skoggjødning endrer karplantesamfunnet, vil dette sannsynligvis være i retning av arter tilknyttet nitrogenrik jord, hvilket vil øke Ellenberg N-verdien. Hvis skalert Ellenberg N-verdi ligger lavere enn referanseverdien, vil nitrogengjødning sannsynligvis endre plantesamfunnet slik at skalert Ellenberg N-verdi nærmer seg referanseverdien, altså en bedring i økologisk tilstand. Hvis derimot skalert Ellenberg N-verdi ligger høyere enn referanseverdien, vil nitrogengjødning sannsynligvis endre plantesamfunnet slik at skalert Ellenberg N-verdi får et større avvik fra referanseverdien og nærmere seg eller overskrider øvre grenseverdi - altså en forverring i økologisk tilstand. Hvorvidt slike endringer slår ut på vurderingen av økologisk tilstand i skog i hele Norge eller i noen av regionene som er vurdert, avhenger av hvilke og hvor store arealer som påvirkes.

- **Blåbærdekning**; skoggjødning er forventet å redusere indikatorens verdi, selv om det til dels ser ut til å være avhengig av tilstedeværelse av arter med høyere nitrogenpreferanse som konkurrenter blåbærlyng

o Indikatoren for blåbærdekning ligger allerede under grenseverdien for god økologisk tilstand (Framstad m. fler2021), så en reduksjon i blåbærdekning som følge av gjødsling vil ytterligere redusere verdien for denne indikatoren og vil ha en negativ effekt på økologisk tilstand for norsk skog.

- **Bestandsnivå hjortedyr;** skoggjødsling er forventet å øke indikatorens verdi

o Generelt vil N-tilførsel kunne føre til at planter (også i feltsjiktet) får et noe høyere innhold proteiner og dermed får høyere beitekvalitet, noe som tilsier økt vekst og kondisjon hos hjortedyr. Siden det skal gjødsles med mengder som i engangsdoser tilsvarer ca. 30 x tålegrensen for middels til fattig markvegetasjon (jf Austnes m. fler2018), og det er forventet at N-nivåene vil forbli forhøyete >10 år, er det ikke usannsynlig at en viss økning i beitekvalitet vil finne sted. Siden hjortedyrbestandene allerede er vurdert å være til for høye sammenlignet med referansetilstanden, vil dermed nitrogen gjødsling trolig kunne medføre redusert økologisk tilstand.

- **Naturindeks for skog;** samlet effekt på naturindeks er vanskelig å vurdere

o Naturindeksen for skog er en kompleks indikator som grovt sett kan sies å indikere tilstanden for biomangfold og artssammensetning i norsk skog. Den består av åtte nøkkelindikatorer (til sammen vektet 50%) og 81 øvrige indikatorer fordelt på fem funksjonelle grupper (hver vektet like mye). De åtte nøkkelindikatorerne er blåbærdekning, eldre lauvsuksesjon, gamle trær, gammel skog, mengde liggende død ved, mengde stående død ved, rogn-osp-selje og bestander av smågnagere. Tilstanden for gamle trær, eldre lauvsuksesjon og mengde liggende død ved bidrar i stor grad til en lav samlet indeksverdi for skog, mens blåbær og smågnagere har tilstandsverdier som øker indeksverdien. De fem funksjonelle gruppene er toppredatorer, mellompredatorer, herbivorer, primærprodusenter og nedbrytere. Tilstanden for toppredatorene og nedbryterne bidrar til å trekke indeksverdien ned, mens mellompredatorene og primærprodusentene bidrar til en bedre indeksverdi.

o Siden naturindeksen er sammensatt av så mange indikatorer, er det vanskelig å anslå hvilken effekt økt bruk av gjødsling i skog vil ha på samlet indeksverdi. Noen av indikatorene inngår også alene i vurdering av økologisk tilstand, som blåbærdekning, og effekten av skoggjødsling på disse har vi allerede vurdert over. Det viktigste aspektet for naturindeksen, som skiller den fra de andre indikatorene for økologisk tilstand, vil være hvordan skoggjødsling slår ut på artsmangfoldet i skogen, da de fem funksjonelle gruppene inkluderer mange ulike indikatorarter.

3. Oppsummering

Det er i dag få studier som er direkte sammenlignbare med norsk gjødslingsregime. Derfor er denne rapporten basert på litteratur hvor både gjødslingsmengde og antall gjødslingsrepetisjoner varierer og i flere tilfeller er betydelig høyere enn norsk standard. I mangel på kunnskap er det ikke mulig å vurdere hvordan resultatene fra studiene ville blitt hvis de hadde fulgt et norsk gjødslingsregime.

Gjennomgang av rapporten av Haugland m. fler (2014) viser lite tilgjengelig kunnskap om effekten av ekstra nitrogentilførsel på fauna, de gjorde en antagelse om at effektene på fauna i hovedsak var indirekte gjennom endringer på vegetasjonen. Ny kunnskap presentert over (se 2.2.1) viser at løpebillesamfunnet påvirkes av skoggjødsling, og at det er sannsynlig at også andre artsgrupper enn løpebiller vil påvirkes av endringene i skogmiljøet som følge av gjødsling. For eksempel er det vist at fugler ofte responderer i samsvar med løpebiller til endringer i skogforvaltning (Aubin m. fler 2013). I tillegg vil endringene i løpebillesamfunnet ha effekter videre i næringsnett, blant annet direkte for løpebillenes byttedyr.

Det har kommet lite ny kunnskap etter 2014 om hvordan karplanter og bakkelevende mose og lav responderer på gjødsling av skog. Studiene presentert over (se 2.2.2) viser som forventet ikke store endringer i antall arter etter nitrogengjødsling, men heller endringer i dekningsgrad hos artene. Endret dekningsgrad etter gjødsling indikerer endringer i miljøforhold og at artene responderer ulik på disse endringene. For karplanter og bakkelevende moser og lav er ny kunnskap i overensstemmelse med kunnskapen fremstilt i rapporten av Haugland m. fler (2014). Både eldre og nyere litteratur viser at lav er en artsgruppe som responderer negativt på skoggjødsling, mens hos karplanter og moser viser ulike arter ulik respons trolig som følge av ulik nitrogenpreferanse.

Haugland m. fler (2014) viser til litteratur som konkluderer med at forhøyede nitrogenkonsentrasjoner forårsaker redusert vitalitet og diversitet hos mykorrhizasopp, men at det synes uklart hvorvidt nitrogengjødslingen reduserer biomassen av mykorrhizasopp. Ny litteratur presenter over (se 2.2.3) påpeker at biologisk mangfold under bakken blir generelt negativt påvirket av gjødsling; sensitive, saktevoksende arter som er tilpasset næringsfattige forhold (arter spesialisert til lave nitrogennivåer), inkl. rødlistearter, vil avta i relativ abundans eller forsvinne. De erstattes av nitrofile, hurtigvoksende arter. Det er mindre etablert hvordan diversitet eller artsrikdom vil bli påvirket, men i mange studier rapporteres økte verdier av diversitetsindekser eller artsrikdom. Høyere verdier av diversitetsindekser eller artsrikdom betyr imidlertid ikke nødvendigvis positive virkninger på biologisk mangfold. Artssammensetningen endres slik at jordsamfunnet som var tilpasset et lavt nitrogennivå skifter mot et nitrofilt samfunn.

Endringene i biologisk og funksjonell mangfold kan strekke seg fra lokal til landskapsskala, som vist for insekter og planter (funksjonell homogenisering av samfunn; Hedwall m. fler 2011, Rodriguez m. fler 2021). Hvis vi taper de nitrogenfølsomme artene først på lokal skala og over tid også på landskapsskala, kan det få store konsekvenser for skogens næringsnettverk og viktige økosystemprosesser samt levering av økosystemtjenester, og økosystemets resiliens mot klimaendringer.

Ved gjennomgang av konklusjonene fra rapporten av Haugland m. fler (2014) stiller vi oss kritiske til konklusjonen "Sammenlignet med effekter på det biologiske mangfoldet som følger av hogstingrepet 10 år etterpå, anses endringene omtalt over å være av mindre betydning for biologisk mangfold i gjødslede bestander." En slik konklusjon er ikke i samsvar med bekymringer rundt samlet belastning på et økosystem, altså at ulike påvirkninger hver for seg har gitte effekter på økosystemer, men at de i kombinasjon kan ha andre og/eller større effekter (Darling & Côté 2008). Den samlede effekten på arter og økosystemfunksjoner i norsk skog vil også være avhengig av hvilke og hvor store arealer som gjødsles, samt hvorvidt gjødsling gjentas i flere omløp i samme område.

Denne kunnskapsutredningen viser at det er betydelig kunnskapsmangler knyttet til påvirkningen på biologisk mangfold ved et norsk gjødslingsregime (150 kg N per ha som engangsdose, ca. 10 år før hogst). Vi etterspør mer kunnskap på effektene av et norsk gjødslingsregime både på kort og lang sikt:

- Mer kunnskap om hvordan faunaen (særlig invertebrater og fugl) påvirkes av skoggjødsling.
- Mer kunnskap om hvordan funksjonell mangfold blir påvirket av skoggjødsling.
- Mer kunnskap om hvordan etablering av fremmede arter i boreal skog påvirkes av høyere nitrogentilgang.
- Mer kunnskap om påvirkningseffekten på biologisk mangfold ved bruk av samme mengde gjødsling, men fordelt på mindre doser per gjødsling.
- Mer kunnskap om effekter av samlet belastning på skogøkosystemer fra påvirkning av gjødsling i kombinasjon med hogst, markberedning, klimaendringer m.m.

- Mer kunnskap om gjødslingsinduserte endringer i biologisk mangfold påvirker økosystemets karbon- og næringscykluser og andre viktige prosesser på lang sikt.

5. Referanser

Addison, S.L., Smaill, S.J., Garrett, L.G. & Wakelin, S.A. 2019. Effects of forest harvest and fertiliser amendment on soil biodiversity and function can persist for decades. *Soil Biology and Biochemistry* 135: 194-205.

Almeida, J.P., Rosenstock, N.P., Forsmark, B., Bergh, J. & Wallander, H. 2019. Ectomycorrhizal community composition and function in a spruce forest transitioning between nitrogen and phosphorus limitation. *Fungal Ecology* 40: 20-31.

Aubin, I., Venier, L., Pearce, J., & Moretti, M. (2013). Can a trait-based multi-taxa approach improve our assessment of forest management impact on biodiversity? *Biodiversity and Conservation*, 22, 2957– 2975. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0565-6>

Austnes, K., Lund, E., Sample, J. E., Aarrestad, P. A., Bakkestuen, V., & Aas, W. (2018). Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012– 2016. *NIVA-rapport*.

Bardgett, R. D., & Van Der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505-511.

Berthrong, S.T., Yeager, C.M., Gallegos-Graves, L., Steven, B., Eichorst, S.A., Jackson, R.B. & Kuske, C.R. 2014. Nitrogen fertilization has a stronger effect on soil nitrogen-fixing bacterial communities than elevated atmospheric CO₂. *Applied Environmental Microbiology* 80: 3103-3112.

Binkley, D. and Högberg, P. 2016. Tamm review: Revisiting the influence of nitrogen deposition on Swedish forests. *Forest ecology and management* 368, 222-239.

Chen, Q. L., Ding, J., Zhu, D., Hu, H. W., Delgado-Baquerizo, M., Ma, Y. B., ... & Zhu, Y. G. (2020). Rare microbial taxa as the major drivers of ecosystem multifunctionality in long-term fertilized soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 141, 107686.

Clark, C. M., Bell, M. D., Boyd, J. W., Compton, J. E., Davidson, E. A., Davis, C., Fenn, M. E., Geiser, L., Jones, L., and Blett, T. F. 2017. Nitrogen-induced terrestrial eutrophication: cascading effects and impacts on ecosystem services. *Ecosphere* 8: e01877.

Colombo, F., Macdonald, C. A., Jeffries, T. C., Powell, J. R., & Singh, B. K. (2016). Impact of forest management practices on soil bacterial diversity and consequences for soil processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 94, 200-210.

Choma, M., Rappe-George, M.O., Bárta, J., Čapek, P., Kaštovská, E., Gärdenäs, A.I. & Šantrůčková, H. 2017. Recovery of the ectomycorrhizal community after termination of long-term nitrogen fertilisation of a boreal Norway spruce forest. *Fungal Ecology* 29: 116-122.

- Darling, E. S., & Côté, I. M. (2008). Quantifying the evidence for ecological synergies. *Ecology letters*, 11(12), 1278-1286.
- Framstad, E., Berglund, H., Jacobsen, R.M., Jakobsson, S., Ohlson, M., Sverdrup-Thygeson, A. & Töpper, J. 2021. Vurdering av økologisk tilstand for skog i Norge i 2020. NINA Rapport 2000. Norsk institutt for naturforskning.
- From F, Strengbom J, Nordin A. 2015. Residual long-term effects of forest fertilization on tree growth and nitrogen turnover in boreal forest. *Forests*. 6(4):1145–1156. doi:[10.3390/f6041145](https://doi.org/10.3390/f6041145)
- Haugland m. fler 2014. Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak – egnede arealer og miljøkriterier (M174-2014, <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M174/M174.pdf>).
- Haas m. fler2018 Microbial community response to growing season and plant nutrient optimisation in a boreal Norway spruce forest. *Soil Biology & Biochemistry* 125.
- Hedwall P-O, Brunet J. 2016. Trait variations of ground flora species disentangle the effects of global change and altered land-use in Swedish forests during 20 years. *Glob Change Biol*. 22:4038–4047. doi:[10.1111/gcb.13329](https://doi.org/10.1111/gcb.13329).
- Högberg MN, Briones MJI, Keel SG, Metcalfe DB, Campbell C, Midwood AJ, Thornton B, Hurry V, Linder S, Näsholm T, Högberg P (2010) Quantification of effects of season and nitrogen supply on tree below-ground carbon transfer to ectomycorrhizal fungi and other soil organisms in a boreal pine forest. *New Phytol* 187:485–493.
- Högberg m. fler 2014a. Effekter av kvävegødsling på skogsmark. Kunnskapssammanställning utförd av SLU på begäran av Skogsstyrelsen. Rapport 1-2014.
- Högberg, M.N., Blaško, R., Holm Bach, L., Hasselquist, N.J., Egnell, G., Näsholm, T. & Högberg, P. 2014. *Plant and Soil* 381: 45–60.
- Jacobson, S. m. fler2020. Long-term responses of understory vegetation in boreal Scots pine stands after nitrogen fertilisation. *Scandinavian Journal of Forest Research* 35, 139-146.
- Jakobsson, S. & Pedersen, B. (red.) 2020. Naturindeks for Norge 2020. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold. NINA Rapport 1886. Norsk institutt for naturforskning.
- Lladó, S., López-Mondéjar, R. & Baldrian, P. 2017. Forest Soil Bacteria: Diversity, Involvement in Ecosystem Processes, and Response to Global Change. *Microbiol Mol Biol Rev*. 81: e00063-16.
- Lorentzen, M. (2017). Impact of fertilization on field vegetation and litter layer in a boreal forest (Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås).
- Maaroufi, N.I., Palmqvist, K., Bach, L.H., Bokhorst, S., Liess, A., Gundale, M.J., Kardol, P., Nordin, A. & Meunier, C.L. 2018. Nutrient optimization of tree growth alters structure and function of boreal soil food webs. *Forest Ecology and Management* 428: 46-56.
- Marupakula, S., Mahmood, S., Clemmensen, K.E., Jacobson, S., Högbom, L. & Finlay, R.D. 2021. Root associated fungi respond more strongly than rhizosphere soil fungi to N fertilization in a boreal forest. *Science of the Total Environment* 766.
- Mulder, C., Ahrestani, F.S., Bahn, M., Bohan, D.A., Bonkowski, M., Griffiths, B.S., Guicharnaud, R.A., Kattge, J., Krogh, P.H., Lavorel, S. m. fler 2013. Connecting the green and brown worlds: allometric and stoichiometric predictability of above- and below-ground networks In: Woodward, G. & Bohan, D.A., eds

Ecological networks in an agricultural world – Advances in Ecological Research, Vol 49. Amsterdam, The Netherlands: Academic Press, 69-175.

Nijssen, M. E., WallisDeVries, M. F., & Siepel, H. (2017). Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna. *Biological Conservation*, 212, 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.02.022>

Nilsen, P. 1999. Skoggjødsling i Norge. Et litteraturstudium over forsøksresultater fra fastmarksgjødsling. – Rapport fra skogforskningen. Supplement 13:1-27. Nilsen, P., 2001.

Nybø, S. & Evju, M. (red) 2017. Fagsystem for fastsetting av god økologisk tilstand. Forslag fra et ekspertråd. Ekspertrådet for økologisk tilstand, 247 s.

Rodríguez, A., Hekkala, A. M., Sjögren, J., Strengbom, J., & Löfroth, T. (2021). Boreal forest fertilization leads to functional homogenization of ground beetle assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 58(6), 1145-1154.

Sullivan, T. P., & Sullivan, D. S. (2017). Influence of nitrogen fertilization on abundance and diversity of plants and animals in temperate and boreal forests. *Environmental Reviews*, 26(1), 26-42.

Suz, L.M., Bidartondo, M., van der Linde, S. & Kuyper, T.W. 2021. Ectomycorrhizas and tipping points in forest ecosystems. *New Phytologist* 231: 1700-1707.

Statistisk sentralbyrå. Skogbruk. 05543: Gjødsling av skog, etter statistikkvariabel og år. www.ssb.no

Tahovská, K., Choma, M., Kaštovská, E., Oulehle, F., Bárta, J., Šantrůčková, H. & Moldan, F. 2020. Positive response of soil microbes to long-term nitrogen input in spruce forest: Results from Gårdsjön whole-catchment N-addition experiment. *Soil Biology & Biochemistry* 143: 107732.

Tarvainen, L., Lutz, M., Rantfors, M., Näsholm, T. & Walling, G. 2016. Increased Needle Nitrogen Contents Did Not Improve Shoot Photosynthetic Performance of Mature Nitrogen-Poor Scots Pine Trees. *Frontiers in Plant Science* 7: 1051.

Tingstad, L., Evju, M., Sickel, H. & Töpper, J. 2019. Utvikling av nasjonal arealrepresentativ naturovervåking (ANO). Forslag til gjennomføring, protokoller og kostnadsvurderinger med utgangspunkt i erfaringer fra uttesting i Trøndelag. NINA Rapport 1642. Norsk institutt for naturforskning.

van der Linde, S., Suz, L.M., Orme, C.D.L. m. fler. 2018. Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature* 558: 243-248.

Van Sundert, K., Linder, S., Marshall, J. D., Nordin, A., & Vicca, S. (2021). Increased tree growth following long-term optimised fertiliser application indirectly alters soil properties in a boreal forest. *European Journal of Forest Research*, 140(1), 241-254.

Tabel 1													
Forfattere	Publikasjonsår	Land	Habitat	Gjødselstype	Doseringsrate kgN/ha	Total mengde gjødsel kgN/ha	Antall områder	År siden siste gjødsling	Artsgruppe	Dekningsgrad	Rikhet	Diversitet	Abundans
Jacobsen et al. 2020	2020	Sverige	Pinus sylvestris	NH4NO3	120-240	120-1000	11	10-34	Lyng	Høyere i gjødslede områder enn i kontrollområder			
Jacobsen et al. 2020	2020	Sverige	Pinus sylvestris	NH4NO3	120-240	120-1000	11	10-34	Mose	Høyere i gjødslede områder eller likt som kontrollområder			
Jacobsen et al. 2020	2020	Sverige	Pinus sylvestris	NH4NO3	120-240	120-1000	11	10-34	Lav	Lavere i gjødslede områder enn i kontrollområder			
Lorentzen 2017	2017 Masteroppgave	Norway	Picea abies	NH4NO3	150	1950	1	0	Gress	Økning i dekningsgrad i gjødslede ruter			
Lorentzen 2017	2017 Masteroppgave	Norway	Picea abies	NH4NO3	150	1950	1	0	Lyng	Nedgang i dekningsgrad i gjødslede ruter			
Lorentzen 2017	2017 Masteroppgave	Norway	Picea abies	NH4NO3	150	1950	1	0	Mose og lav	Nedgang eller ingen endring i dekningsgrad			
Högberg et al. 2014	2014	Sverige	Pinus sylvestris	NH4NO3	34-108	1350-2520	1	1-20	ECM sopp og bakterier	ECM sopp:bakterier minker			
Rodriguez et al. 2021	2021	Sverige	Picea abies	NH4NO3	125-150	375-450	21	0	Løpebiller (Carabidae)	Økning for gran (stammegrunnflate), reduksjon for moser, røsslyng og blåbærlyng	Økning for urteplanter, ingen effekt på løpebiller	Reduksjon for løpebiller; Simpsons indeks og funksjonell rikhet	
Choma et al. 2016	2017	Sverige	Picea abies	NH4NO3	34-73	1570-1760	1	0-23	ECM sopp	Nedgang av ECM sopp, ECM sopp:bakterier minker	Nedgang i ECM arter som er dominerende i sopp; en tendens av større antall arter i gjødslete prøveflater.	Ingen endring	Relativ abundans av ECM sopp i soppfunn minker; relativ abundans av ECM sopp øker etter avsluttet gjødsling, men når ikke det originale nivået under 23 år.
Haas et al. 2018	2018	Sverige	Picea abies	NH4NO3	75-100	?	1	0	Sopp og bakterier	Økning av nitrofile og copiotrofiske taksa, minking av nitrofobe taxa			ECM sopp: stabil (5 år i røtter) eller økning (25 år i røtter, 5 og 25 år i jord), ikke-ECM sopp: stabil (5 og 25 år), bakterier: stabil (5 år i røtter) eller økning (25 år i røtter, 5 og 25 år i jord)
Tahovská et al. 2020	2020	Sverige	Primært Picea abies, noe Pinus sylvestris	NH4NO3	29-52	?	1		Sopp og bakterier	Økt biomasse, endret artssammensetning	OTU rikhet: stabil. Øking av saprotrofe sopper, Nedgang i ECM sopp, men avhengig fuktighet.	Stabil, men endret artssammensetning. Effekten av N på artssammensetningen interagerer med fuktighet for både bakterier og sopp	
Marupakula et al. 2021	2021	Sverige	Pinus sylvestris	NH4NO3	150	150	1	1	Sopp	Rotassosiert sopp: nedgang, jordassosiert sopp: øking	ECM sopp: artssammensetning endret, Saprotrofe sopp: artssammensetning stabil.	Dominante rotassosierte og jordassosierte arter ble mer dominante.	

Maaroufi et al. 2018	2018	Sverige	Picea abies	NH4NO3	75-100	?		1	0	Sopp, bakterier, mikroorganismer	Nedgang i total biomasse.	Nematoder, Collembolans & Acari: stabil	Nematoder: nedgang, Collembolans & Acari: stabil	Bakterier: økning, sopp: nedgang, nematoder - bakterivora & frugivora: nedgang, plantespisende: øking, omnivorer: nedgang, collembolans - epi-edaphic: stabil, hemi-edaphic: øking, euedaphic: nedgang, arachnids: stabil eller nedgang.
Almeida et al. 2019	2019	Sverige	Picea abies	NH4NO3	200 kg N ha-1		200	1	3	ECM sopp	Nedgang av hyfer og biomasse.	Signifikant endring i artssammensetning. Økning av nitrofile arter med lavt karbonkrav.		
Addison et al. 2019	2019	New Zealand	Pinus radiata	CON2H4	?		1150-3200	2	6-17	Sopp og bakterier		Sopp: stabil eller øking, bakterier: nedgang i OTUer	Endret artssammensetning	
Berthrong et al. 2014	2014	USA	Pinus taeda	NH4NO3		112	112	1	2	N-fikserende bakterier			En sterk effekt på samfunnets struktur. Redusert diversitet.	Redusert abundans.

8.2 Referat workshop klima

Til:
 Fra:
 Dato: 03.11.2021
 Vår referanse:
 Møteart: Workshop
 Møtedato: 20.9.2021
 Tilstede: Fra Miljødirektoratet: Siri Sorteberg, Hege Haugland, Sina Jenhaug Ringlund, Odd Kristian Selboe, Jakob Sandven.
 Fra Landbruksdirektoratet: Geir Grønningssæter, Trond Svanøe-Hafstad, Torleif Terum, Jon Andreas Ask, Runa Stenhammer Aanerød, Baro Moslet (digitalt), Fredrik Vaadal (digitalt), Per Gjellan (digitalt).
 Fra NIBIO: Bjørn Håvard Evjen, Gunnhild Søgaard, Kjersti Holt Hanssen.
 Fra NMBU: Line Nybakken.
 Fra NINA: Jenni Nordén (digitalt).
 Fra SLU: Tomas Lundmark (digitalt).

«Workshop: Klimaeffekter av nitrogengjødsling i skog»

BAKGRUNN FOR MØTET

Tilskuddsordningen gjødsling av skog som klimatiltak skal evalueres i 2021. Klimaeffekten av nitrogengjødsling i skog belyses av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Norsk institutt for naturforskning (NINA), Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) og Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) gjennom en workshop. Hovedspørsmålet er om det er ny forskning (det vil si forskning etter at tilskuddsordningen ble etablert i 2014) som

1. Kan endre konklusjonene fra 2014, og
2. Eventuelt burde får betydning for utforming av ordningen

Det er dagens ordning med krav og anbefalinger

(<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/skogbruk/ordninger-for-skogbruk/tilskudd-til-gjodsling-av-skog-som-klimatiltak>) som legges til grunn. Fokuset er utelukkende på klimaeffekter. Effekter på vannmiljø og terrestrisk naturmangfold belyses i egne bestillinger.

Nr.	Sakstittel	Oppsummering
1	Velkommen	Velkommen v/ Siri Sorteberg Presentasjonsrunde
2	Erfaringer fra årene med tilskudd v/Jon Andreas Ask (Landbruksdirektoratet)	Fram mot etablering av tilskuddsordningen (2015) ble det i gjennomsnitt gjødslet ca. 10.000 daa årlig i Norge. Ved etablering av tilskuddsordningen ser man en markant økning i skogareal som gjødsles (90 000 dekar), som har falt noe tilbake siden oppstarten. De siste årene har gjødslet areal vært på 40-50 000 dekar per år. Totalt i femårsperioden har det blitt gjødslet 310 000 dekar skogareal. Aktiviteten i Innlandet utgjør 2/3 av gjødslet skogareal, etterfulgt av Oslo og Viken (50 000 dekar) og Trøndelag (30 000 dekar). Landets øvrige fylker gjødsler lite sammenliknet med de nevnte tre. Retningslinjene setter klare krav til arealet som potensielt kan gjødsles. Resultatet fra årene med tilskudd er at retningslinjene i stor grad blir fulgt.

		<p>Resultater fra utbetaling av tilskudd fra ØKS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Av totalt 310 000 dekar gjødslet skogareal utgjør furu 200 000 dekar og gran 100 000 dekar. Gjødsling av andre treslag er marginalt. • Hogstklasse 4 utgjør 2/3 av gjødslet skogareal (ca. 230 000 dekar). Hogstklasse 3 utgjør ca. 50 000 dekar, og hogstklasse 5 utgjør ca. 30 000 dekar av gjødslet skogareal. Det forekommer registreringer av gjødslet skogareal i hogstklasse 1 og 2, men dette er i hovedsak feilregistreringer i systemet (ØKS). • Det er gjødslet hovedsakelig i bonitetsklasse 14 (180 000 dekar). Vi finner noe i bonitetsklasse 17 (ca. 80 000 dekar) og 11 (ca. 35 000 dekar). Vi finner lite i bonitetsklasse 8 og 20 (mindre enn 5000 dekar i begge klasser). • Det er ikke et krav om at bestandet skal være tynnet, men skogen skal være «veksterlig, ensaldret skog». Et resultat av retningslinjene er at aktuelt gjødslingsareal er bestandsskog etablert etter 2. verdenskrig. • Det gjødsles hovedsakelig i vegetasjonstypene bærlyngskog, blåbærskog og noe småbregneskog. Disse tre vegetasjonstypene utgjør 99% av gjødslet skogareal. Vegetasjonstyper slås sammen i bestandet, og det kan være gradienter i feltet. <p>Miljøkriterier</p> <ul style="list-style-type: none"> • I hensynssonen langs Skagerak, hvor det skulle gjødsles maksimalt 25 000 dekar i femårsperioden, ble taket nådd etter 3 år. Størsteparten av arealet som gjødsles i hensynssonen ligger i Oslo og Viken. • Buffersonen rundt elver og bekker er i stor grad overholdt. En masteroppgave har funnet noe feil i buffersonen rundt elver og bekker (<1%). • Noen tilfeller av feilgjødsling i tilknytning til buffersoner mot livsmiljø i skog. <p>Metodikk</p> <ul style="list-style-type: none"> • 95% gjødsles fra helikopter, 5% fra traktor. • Vanligste gjødselstype er YaraBela OPTI-KAS SKOG (grovgranulat, sammensetning: 27% N, 5% Ca, 2,4% MG, 0,2% B). <p>Klimaeffekt</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,05% av produktivt skogareal er gjødslet i Norge i femårsperioden, noe som utgjør 170 000 tonn bundet CO₂ (forsiktig estimat).
3	Skogsgjødsling v/Tomas Lundmark (SLU)	Skogen er formet av mennesker, og er i en kontinuerlig forandringsprosess. I dag er det en mosaikk av ulike typer skog. Finland har mye yngre produksjonsskog, Norge har mye eldre skog, Sverige har en jevnere fordeling av hogstklassene. Som en følge av dette er den relative vekstraten høyere i Finland, mens den norske kurven er fallende på grunn av mye gammel

	<p>skog som vokser lite. En måte å opprettholde høy tilvekst i norske skoger uten at det går utover karbonlageret er å gjødsle.</p> <p>Skogen har flere klimanytter:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Som en buffer for utslipp i andre sektorer av samfunnet ved å absorbere CO₂-utslippene • Ved å bruke materialer fra skogen i stedet for olje og betong, som gjør at det slippes ut mindre i de andre sektorene (substitusjon) <p>Avvirkning av skog gir utslipp av CO₂, men dette utslippet er ikke samme type utslipp som fossilt CO₂. Ved å slutte å avvirke skogen blir det mer behov for olje og kull. Gjødsling av skog lager et nytt karbonlager. Skogens tilvekst bestemmer hvor stor klimanytte man kan få. Vi forsøker å kombinere vekstfremmende tiltak samtidig som miljøverdier tas hensyn til. Gjødsling den enkleste og raskeste måten å oppnå høy tilvekst også i framtida.</p> <p>Resultater fra forsøk</p> <p>Ny forskning fra feltforsøk i yngre granskog i Sverige viser at det er større effekt å gjødsle gran enn furu, kanskje fordi de har flere barårganger. Metode: Et intensivt gjødslingsregime, gjødsler hvert år, annethvert år, og tredje hvert år med 800-1000 kg N/ha i en 10-årsperiode. Resultater: Gjødslet areal har doblet tilveksten i perioden sammenliknet med kontrollen. Kontrollen har en volumøkning på rundt 100 m³/ha. Effekten av gjødslingen er større i Nord-Sverige, med en gjennomsnittlig volumøkning på 150 m³/ha. Det er stor forskjell i gjødslingsreaksjon avhengig av hvor i Sverige man er: jo lenger mot nord, jo mer effekt av gjødslingen. Dette kan komme av hvor tilgjengelig nitrogen er i humusen. Gjødslingsreaksjonen er proporsjonal med hvor næringsfattig marka er.</p> <p>Beregninger fra 15-årig granskog som er gjødslet med 150 kg N/ha annethvert år:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tilfører 150 kg N/ha 6 ganger til en kostnad på 3000 SEK per gang. Totalkostnad i tiårsperioden blir da 18 000 SEK. • 150 m³ • Omløpstid endres fra 75 år til 60 år • Vekst på 1,5% eller 2,5% • Regnskapet viser 220 kg CO₂/kg N. Standard prosedyre i Norge gir 130 kg CO₂/kg N. • Kostnad per ekstra kubikkmeter produsert i yngre og middeladrende skog blir da 80-320 SEK. <p>Konklusjon: Mer intensiv gjødsling av ungskog kan øke klimaeffekten med minst 50 % mer enn den strategien vi benytter i Norge i dag, men det må skapes økonomiske insentiver for å gjødsle på annen måte.</p> <p>Spørsmål/kommentarer: Tanker rundt jordkarbon?</p>
--	---

		<ul style="list-style-type: none"> • Alle gjødslingseksperimentene viser en økning av karbon i jorda. Men det er veldig vanskelig å måle. Ut fra forskningsresultatene er det god grunn til å anta en positiv effekt <p>Vet du noe om effekten på avrenning ved gjødsling gjentatte ganger?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Det ble tatt prøver hele tiden. Sverige har ikke funnet avrenning av N som følge av gjødsling til tross for intensiv ungskogsgjødsling i 40 år. Dosene tilpasses opptaket, og holdes gjødslingsmengden til under 150 kg N/ha er risikoen for avrenning av nitrogen liten. <p>Tanker om studier som viser at måten å øke klimanytten på er å avvirke mindre?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Henviser til substitusjonseffekten – hvor mye utslipp har man unngått? All lagring av karbon er alltid midlertidig. Det blir derfor feil å blande sammen disse nyttene. En substitusjonsnytte vil vare evig, det er alltid bra.
4	<p>Klimaeffekt av skoggjødsling – oppdatering av kunnskap etter 2014 v/Kjersti Holt Hanssen og Gunnhild Søgaard (NIBIO)</p>	<p>Det har ikke kommet ny kunnskap etter 2014 rundt effekten på skogproduksjonen som endrer konklusjonen fra rapport M174-2014 «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak».</p> <p>Tommelfingerregelen under nordiske forhold er at 15 kg N/da over en periode på 6-10 år, gir ca. 1,5 m³ ekstra tømmer. Dette tilsvarer et økt opptak av 0,14 – 0,27 millioner tonn CO₂ kun i biomassen. Dette er ikke inkludert effekten på jordkarbon og substitusjon.</p> <p>Ny kunnskap</p> <p>En studie fra Sverige: ved å gjødsle 150 kg N/ha i to omganger (så bestanden totalt gjødsles med 300 kg N/ha) 10 år før hogst, finner man større høyde i neste omløp enn om bestanden ikke er gjødslet. Årsaken kan være at omrøring av jorda under hogst og markberedning gir frigjøring av nitrogen, som de nye plantene nyttiggjør seg av.</p> <p>Effekter av gjødsling:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gjødsling fører til økt dimensjon og noe høyere sagtømmerandel, som igjen potensielt gir noe høyere substitusjonseffekt. • Gjødsling har effekter på karbon i jord. Noen prosesser virker i positiv retning, noen prosesser virker i negativ retning. I 2014 konkluderte man med å si at man ikke hadde nok kunnskap. I dag er det tydeligere slått fast at gjødsling gir økt karbonbinding i jord som følge av mer strøfall og redusert nedbrytning. • Mykorrhiza er en del av karbonet i jorda. Mengde mykorrhiza i forhold til bonitet kjenner vi ikke til. <ul style="list-style-type: none"> ◦ I 2014-rapporten ble det referert til flere studier som viste nedgang i ektomykorrhiza

		<p>etter gjødsling, selv om resultatene varierte litt.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Bildet i dag er noe mer nyansert. <i>Marupakula m.fl. 2021</i>: For sopp i symbiose med røtter gikk diversiteten ned etter gjødsling, mens andre sopper økte eller var uendret (i tråd med 2014). <i>Haas m.fl. 2018</i>: Gjødsling i 5 eller 25 år ga større diversitet av sopp og bakterier i jorda. <i>Tahovska m.fl. 2020</i>: Etter 24 års gjødsling med 40 kg N/ha: Samme forhold mellom bakterier og sopp, og like mye ektomykorrhiza etter gjødsling, men mer N-elskende ektomykorrhiza-arter og saprotofer. <i>Høgberg m.fl. 2011,2014</i>: Store N-doser over mange år: Årlig negativ effekt på ektomykorrhiza gikk tilbake noen år etter at gjødslingen ble stoppet. 20 år etter var det like mye ektomykorrhiza/m² som i kontrollen (soppen henter seg opp igjen noen år etter at gjødslingen stopper). • Høgst etter 10 år gir en markant nedgang i mykorrhiza. <p>Lystgass (N₂O):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utslipp av N₂O ved N-gjødsling er beregnet med en Tier 1 metodikk i det nasjonale klimagassregnskapet. Lystgassutslipp fra N-gjødsling er del av rapporteringen til FNs klimakonvensjon (både direkte og indirekte utslipp). • Det er liten risiko for lystgassutslipp mtp. de retningslinjene vi gjødsler med i Norge. • Tilførsel av nitrogengjødsel kan gi atmosfærisk deponisjon, tap av nitrogen ved utvasking og denitrifikasjon, samt direkte utslipp av N₂O. • Totalt utslipp av N₂O fra aktuelle kilder i det nasjonale klimagassregnskapet var 46 tonn N₂O i 2019. Dette utgjør 10% av det økte CO₂-opptaket i trærne, men inkludert i dette tallet er også lystgassutslipp som skyldes arealbruksendringer og bruk av organisk gjødsel på utbygd areal. Utslipet er fordelt på følgende kilder: <ul style="list-style-type: none"> ○ Atmosfærisk deponisjon (volatilisering): 5 tonn N₂O i 2019. ○ Direkte N₂O fra gjødsling: 6 tonn i 2019. ○ Lekkasje og avrenning: 35 tonn N₂O i 2019. <p>Det er generelt lavere usikkerhet knyttet til størrelsen på utslippene sammenliknet med i 2014. Det har ikke kommet ny kunnskap etter 2014 som endrer resonnetet og konklusjonene fra rapport M174-2014.</p> <p>Metan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nitrogentilførsel påvirker opptaket av metan negativt i de aller fleste tilfeller. Det er usikkert hvordan dette slår ut i boreal skog. Noen studier viser
--	--	--

		<p>ikke entydig effekt, men det har mest sannsynlig en (negativ) effekt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan ikke kvantifiseres. • Dette er noe som bør vurderes, da det ikke ble vurdert i 2014. <p>Substitusjon: Flere studier peker på at gjødsling gir en økning av langlevde produkter. Reduksjon av klimagasser er størst når trevirket primært brukes til langlevde produkter, levetida blir maksimert. Men det er ikke bare sagtømmer som kan gå inn i langlevde produkter; massevirke og returprodukter kan brukes i eksempelvis plateprodukter og isolasjon. Bruk av biomasse til energiformål fokuserer på biprodukter, avfall og etterbruk. Etterspørsel fra andre aktører for en overgang til fornybare løsninger. Det er en økt etterspørsel etter tre til det grønne skiftet, både trebygg og f.eks. til avansert biodrivstoff. Per i dag finnes det ikke ledig volum å bruke til biodrivstoff. Alt som produseres er i bruk eller eksporteres. Det finnes ikke ubrukt volum i Norge i dag. Råstofftilgangen må ikke forsvinne. Råstoffet må brukes smart. Mer intensiv skogskjøtsel, inkl. N-gjødsling, på deler av arealet kan være en løsning for å øke biomassetilgangen. Vi må øke biomasseproduksjonen og sørge for mer ombruk av tre. Skogskjøtsel for økt biomasseproduksjon, eksempler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gjødsling • Tettere foryngelser • Ungskogpleie (og tynning – ved å plante tettere kan vi høste mer biomasse gjennom tynning) • Økt bruk av lauv <p>Mer ombruk av tre</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tilrettelegging av sirkulær vareflyt, håndtering, registrering, design og produksjon av tre, i relevante markeder. • Skal brukes til flere ting før det blir energi. Mulig at samme fiber substituerer fossilt flere ganger. <p>Spørsmål/kommentarer: Det skjer ting på gjenbruksfronten – bruke treavfall til sponplateproduksjon.</p> <p>Arter kommer tilbake – men de samme artene kommer ikke tilbake. Flere nitrofile arter, færre som er sensitive til nitrogen, dette er viktig å nevne.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Litteraturen er ikke helt entydig. Noen fant større diversitet enn før. • Diversitet ikke helt det samme som artssammensetning, og diversitet er ikke nødvendigvis verdifullt i seg selv. <p>Angående bonitet: i de svenske forsøkene er det jobbet i fattig furuskog langt nord, mindre forskning i granskog lenger sør.</p>
--	--	--

		<p>Endringer i bonitet kan man ikke svare på med dagens kunnskapsgrunnlag.</p> <p>Tanker om substitusjon FNs klimapanel: skal maksimere klimanytten. OK å bruke til bioenergi, men da skal det være restmaterialer. Substitusjonen er permanent, men for at det skal være substitusjon må bruken erstatte et utslipp som uansett hadde skjedd. Det er ikke substitusjon om bruk av tre fører til mer forbruk. Dette er vanskelig å regne på, og ble ikke gjort i 2014.</p>
5	Nitrogengjødsling – effekter på karbonopptak i trær og samspill i økosystemet v/Line Nybakken (NMBU)	<p>Har fokusert på forskning i Norden, og mest i Sverige. Det finnes mye forskjellig innen gjødslingsforsøk.</p> <p>Det er et nært forhold mellom fotosyntesen og mengden nitrogen (N). N er en viktig del av klorofyllet, men også en viktig komponent i andre deler av planten. De fleste planter får ikke tak i N fra lufta, de må resirkulere det eller få hjelp fra bakterier for å få tak i N: Trærne får N fra nedbrytning av dødt plantemateriale og via bakterier som kan fikse N direkte fra atmosfæren. Økt tilgang i et N-begrenset system påvirker vekst over bakken, mulig det også påvirker under bakken (røtter). Økt tilgang på N kan se ut til å påvirke forsvaret hos trær, og kanskje beiteresistens.</p> <p>Hvordan kan nitrogengjødsling gi økt biomasse?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. N øker bladarealet. Trærne bytter ut nåler raskere. 2. N øker fotosynteseraten. Flere klorofyllmolekyler i nålene. 3. N fører til at trærne flytter karbon fra produksjon av finrøtter og deling til mykorrhiza, til produksjon av biomasse over bakken (dvs, treet bruker det selv i stedet for å dele). <p>Lystilgang er viktig. Sollyset er katalysator i fotosyntesen. Det finnes nesten ingen studier som måler faktisk fotosyntese etter gjødsling i skog. En svensk studie i furu fant økt tilvekst, men ingen økning i fotosyntese etter gjødsling, antatt pga. lysbegrensning.</p> <p>Vanntilgang:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Har vært lite i fokus før, da vi har mye nedbør, men fokuset har endret seg etter tørkesommeren 2018 – flere steder melder om tørkeskader. • Forskning viser at gjødslingseffekten hos furu på sandholdig jord varierer mye. Sterkt avhengig av årsnedbør. Kan være vi må tenke på når vi gjødsler, ut fra når det er nok fuktighet i bakken. • Transport av N foregår via vann under næringsrike forhold, og vann i bakken er viktig for hvor mye N trærne får opp. N-fattige områder er mindre vannavhengige, og mer avhengig av mykorrhizasamarbeidet. • Gjødslet skog er mer avhengig av vanntilgang for effekt enn ikke gjødslet skog.

		<ul style="list-style-type: none"> • Vann og temperatur er to sider av samme sak – når det er tørt er det også varmt. Det er ikke gjort studier på temperatur og effekt av gjødsling. Vi kjenner ikke grensene. <p>Tørkeresistens:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Det er ikke gjort studier på tørkeresistens etter gjødsling. Det finnes noe forskning fra USA og med andre treslag som viser at gjødsling kan øke forholdet mellom silvev og bladareal, noe som kan føre til økt uttørking pga økt bladareal som igjen øker respirasjonen. <p>Treets forsvar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trærne har et karbonbasert forsvar. Når N øker i et begrenset system, bruker planter mer av karbonet til vekst enn til kjemisk forsvar. • Det er gjort to forsøk som har sett på det kjemiske forsvaret hos nålene fra i fjor og i år. 1) Et ekstremtilfelle – årlig gjødsling, sammenlignet nålene laget i fjor, med de laget i år. Resultat: De nye nålene er forskjellig fra de gamle: det stoffet som utgjør halvparten av forsvarsstoffene i gamle nåler ble halvert i nye nåler. 2) Forsøk i Hobøl – målt 5 år etter gjødsling. Resultat: Er forskjell, men ikke signifikant. • Gjødsling øker beiting i andre planter, men dette er ikke undersøkt hos gran og furu. • Bare effekt i de nye nålene, men disse er mest utsatt for beitedyr og patogener som rustsopp. <p>Under bakken:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gjødsling generelt øker C-lagre i jord. C-lager øker som følge av mer planteavfall og saktere nedbrytning. Lite studier i granskog. <p>Nedbrytning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forsøk: nedbrytning av blåbær og granstrø. • Gjødsling har ingen effekt på nedbrytning av strø etter et år, kommer sannsynligvis etter lengre tid. • Gjødsling ga mer frigjøring av N fra strø, i kontroll ble N mer kompakt bundet i jorda (gjort mer utilgjengelig for plantene). • N blir mer tilgjengelig for treet etter gjødsling. Dette er noe av det vi manipulerer når vi gjødsler. • Gjødslet i 12 år, ingen endring i C i organisk jordsjikt. <p>Mikrobesamfunnet i jorda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stor variasjon mellom studier. • Svensk furuskog: ett år etter gjødsling var C-transporten fra tre til jordboere redusert med 60 % (det er mindre attraktivt å bytte bort karbon til mykorrhiza, fordi de ikke like mye hjelp). • Mer bakterier, mindre sopp.
--	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> • Flere arter som jobber med lett tilgjengelig karbon, færre av de som jobber med det tungt nedbrytbare, hvilket betyr at gjødsling gir mer tungt nedbrytbart karbon. • Svensk studie i furuskog: ingen nedgang i mykorrhiza sammenliknet med nedbrytersopper, ikke mindre biomasse av mykorrhiza etter mye gjødsling. Endring i artssammensetningen, men ikke mindre mengde. <p>C- og N-syklusene i jorda</p> <ul style="list-style-type: none"> • En studie i furuskog viste at gjødsling økte vekst over og under bakken (mer nåler og røtter, og særlig finrøtter, i forhold til sopp). Totalt ga gjødsling mer biomasseproduksjon. • En studie i gran viste mer frigjøring av N, mindre frigjøring av C. Dette fører til at man får økt biomasse. <p>Oppsummering</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gjødsling endrer plantefysiologiske og jordbiologiske prosesser. Det er kanskje det vi vil? • Vanntilgang – det har en betydning når det gjødsles mtp. vanntilgang for effekten av gjødsling. Logistikken bør kanskje ikke alltid bestemme når det gjødsles, men ta mer hensyn til nedbør eller markfuktighet? • Vi vet ikke grensen mellom når vi har en faktisk økning i CO₂-opptak og når vi bare ser en omfordeling av ressurser. • Vi bør vite mer om grenseverdier for klimaeffekt og samspill med andre miljøfaktorer. • Det er fortsatt lite forskning spesielt når det gjelder gjødsling av granskog. <p>Spørsmål/kommentarer: Vi ser stor forskjell i effekt, dette ble også skrevet om i 2014. Er ikke lett å finne forklaring på hvorfor noen felt reagerer mindre – f.eks. vanntilgang. I sum mister ikke trærne alt forsvar – da hadde vi sett effekter av dette i gjødslingsfeltene.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ja, og noen har gjødslet veldig lenge. Men det kommer stadig flere skademekanismer inn. • Nei, trærne mister ikke alt forsvar, og kanskje øker det ikke faren for angrep fra skadegjørere, men ingen har vel systematisk undersøkt om f.eks. rustangrep øker etter gjødsling. • I Hobøl, i et gjødslet bestand der de ikke så effekt, var egentlig produksjonen på veg ned – i kontrollfeltet gikk det ned, men der det var gjødsling holdt den seg stabilt. Dvs. at det var effekt, men ikke synlig økning (i stedet unngått reduksjon). • «Unngått reduksjon» kan være forklaringen, men vi kan ikke se bort fra at det ikke alltid er en gjødslingseffekt (særlig hos gran). Dette viste også
--	--	---

		<p>svenske forsøk tydelig (Bergh mfl.). Hvis det er stor forskjell i effekt tyder jo det på at vi ikke vet nok om det som skjer, og hvilken hensikt har det å gjødsle om en ikke får effekt?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hadde det hatt negativ effekt av betydning, så ville vi ikke observert de tydelige positive effektene på trærnes vekst som er observert i mange feltforsøk og hos skogeiere (som f.eks. Løiten Almenning). <p>Store variasjoner, og derfor viktig å forstå mekanismene. Hvis man kun gjødsler der det vil ha stor effekt og ikke der det er lav effekt vil klimanytten kunne bli veldig mye høyere. Vannfaktoren er nok viktigere enn vi har tenkt tidligere. Digitale vannkart kan gjøre at vi blir bedre.</p>
6	<p>Gjødsling av skog: effekter på klima og funksjonelt viktige organismer v/Jenni Nordén (NINA)</p>	<p>N begrenser vekst. Globalt er det for mye N-tilgang. Er det godt begrunnet å bruke N-gjødsel i skogbruk? Boreal skog er næringsfattig. Tålegrensa for vegetasjon i boreal barskog er 5 kg/ha/år. Indikasjoner på overskridelse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Endringer i jordprosesser • Bakkenær vegetasjon • Mykorrhiza • Økt risiko for næringsubalanse og parasittisme <p>20% av Norge får mer N enn vegetasjonens tålegrense. Gjødsling med 150 kg/ha er mer enn 30 ganger tålegrensen.</p> <p>Karbonlagre i biomasse og jord:</p> <ul style="list-style-type: none"> • C-lager øker etter gjødsling i trær og i undervegetasjon. Finrøtter, sopp, bakterier minker relativt til stamme og kronebiomasse. Jordfauna har ulike responser, kan øke eller minke. • 50-70% av jordkarbon kommer fra/ er i sopper • Gjødsling senker hastighet av nedbrytning, ser ut som karbonlager øker under bakken. Noen studier viser kort sikt, andre på lang sikt. • Usikkerhet med C i jord: Ser ut til at karbonlageret vil øke, men kanskje bare der det var lave nitrogenverdier i jorda før gjødsling. <p>Klimagassutslipp og opptak etter gjødsling: CO₂-opptak øker (positiv klimaeffekt), metan-opptak avtar (negativ klimaeffekt), lystgass-utslipp øker (negativ klimaeffekt) på kort sikt. Vi vet ikke det totale regnskapet når alt er summert.</p> <p>Livsløpsanalyse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Behov for omfattende livsløpsanalyse (LCA). • Positiv klimaeffekt av økt trevekst: 1,5 m³/daa = 1100 kg CO₂-ekvivalenter etter 6-10 år. • Negativ klimaeffekt: utslipp fra produksjon, transport, N₂O fra jorda. Alle utslipp må regnes med i regnskapet for å finne klimaeffekten

		<ul style="list-style-type: none"> • IPCC-skala for N₂O utslippsfaktor har stor usikkerhet – da bør man være føre var og være forsiktig • Bør utredes nøyere <p>Effekter av gjødsling:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biologisk mangfold: urter og gress øker, moser og bærlyng minker. Lav, sopper, jordfauna/insekter negativ effekt. Spesialister i næringsfattige forhold vil tape, flere av disse er truet. «Raske», opportunistiske generalistarter vinner, «sakte», stress-tolerante arter taper. Mykorrhizasopper avtar pga mindre karbon fra trepartnere, både diversitet og biomasse avtar – usikkert om dette påvirker produksjon på lang sikt. Nedbrytersopper: avtar mindre, ikke avhengig av karbon fra trærne. Artssammensetningen vil endres. • Mer frigjøring av karbon heller enn tilførsel av C i jord. • Gjødsling har trolig en netto positiv klimaeffekt, i hvert fall i korte tidsperspektiver, men langtidseffektene, særlig i samspill med klimaendringene, er usikre. Størrelsen av nettoeffekten i dag er ikke godt nok kjent. <p>Vippepunkter i mykorrhizasamfunn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Store skiller i samfunn som kanskje ikke kan reverseres. Avhengige av treslag. • Økosystem med lav artsrikdom og lav funksjonell diversitet er mer sensitive • Studie i Europa: Terskel for store endringer i mykorrhizasamfunn for nitrogensensitive mykorrhiza-arter: 5-6 kg/ha/år. • Vanlig problem med studier: jordsamfunn er allerede endret før gjødslingsforsøk. <p>Bakterier: viktige roller i økosystemet, og blir påvirket ved gjødsling – stort kunnskapsbehov</p> <p>Funksjonelle endringer i samfunn</p> <ul style="list-style-type: none"> • Næringsnettverk: særlig laveste trofiske nivåer påvirker. Påvist at gjødsling påvirker funksjonell homogenisering av samfunn. Både på bestands- og landskapsskala, langsiktig effekt? • Bakteriedrevne nedbrytningsveier kan bli sterkere enn soppdrevne. Dette kan føre til økende N-lekkasje og N₂O-utslipp. • Kunnskapsbehov, men vi vet at gjødsling kan endre funksjonell diversitet i artssamfunn, ikke bare lokalt, men også på landskapsskala – dette er viktig, kan ha viktige konsekvenser for økosystemfunksjoner, -tjenester og resiliens på lang sikt og særlig ift. klimaendringer.
--	--	---

	<p>Kunnskapsbehov:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ikke godt nok kunnskapsgrunnlag på netto klimaeffekt • Effekter på biologisk og funksjonelt mangfold i ulike organismegrupper. • Bakterier: viktige roller i økosystemet, og blir påvirket ved gjødsling. • Kumulative effekter av gjentatt gjødsling på biologisk og funksjonelt mangfold? • Effekter av samfunnsendringer på C- og N-sykluser og andre viktige prosesser på lang sikt. • Samvirkninger av gjødsling, klimaendringer og hogst? CO₂-utslipp øker med temperatur, mer i gjødslet skog enn i ikke-gjødslet skog. <p>Anbefalinger:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avveining: klimakrise og naturkrise • Ta effektene på biologisk mangfold på alvor • Ta føre-var hensyn • Mer forskning før storskala bruk • Prøv å redusere negative virkninger ved valg av metoder og valg av lokaliteter • Unngå bestand som ikke har blitt flatehogst • Unngå områder der N-belastningen er høy • Alternativ: utsett avvirking med 1-3 år? <p>Potensielle metodologiske forbedringer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tilførsel med droner for bedre presisjon? • Tilførsel i mer sakte løselig form, i biokull? • 2 * 75 kg i stedet for 150 kg én gang? • Tidlig sommer i stedet for sensommer? • Utføre gjødsling bare i optimale værforhold <p>Spørsmål/kommentarer:</p> <p>I 2014: regnet på utslipp fra helikopter og produksjon og hadde det med i vurderingen. Utslippene er med i det nasjonale regnskapet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Står bare hvor mye drivstoff helikopter bruker per dekar, ikke transport osv.? <p>Regnet på det, hadde det med i vurderingen av klimaeffekten. Ble også regnet på i Klimakur i 2020 – vil gi utslipp tilsvarende ca. 1-2% av det økte opptaket man får fra økt biomasse.</p> <p>Du sa at biomassen fra røtter minker – men når trærne vokser, så blir det mer røtter – men vokser ikke helt forholdsmessig. Kan du avklare?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tenkte på finrøtter, det er studier som viser at massen finrøtter minker. De mener nok at det blir relativt mindre røtter, og spesielt finrøtter. <p>Ett studie viser også at det kan øke – men det var et overraskende funn.</p> <p>Store forskjeller mellom studier. Men forsket lite på gran, mest i furuskog.</p>
--	---

		<p>Viktig å huske når man refererer til vitenskapelig litteratur: skille mellom gjødslet skog (en gang) og "fruktbar skog" (fertilized vs. fertile). Jo oftere man gjødsler, og jo mer man gjødsler, så endrer man jorda på lengre sikt. En kulturskog: hele poenget med å gjødsle er at det skal ha en virkning, det skal være en effekt. Det finnes uønskelige effekter man vil unngå.</p> <p>Angående utslipp, så er det litt utydelige tall, hva som er koblet til produksjon, transport, og hva som er koblet til spredning, etc. To foretak i Sverige som regner på totaleffekten.</p> <p>Interessant med bruk av droner – en del av teknologiutviklingen.</p> <p>Tålegrenser for nitrogen: gjødslingen er én gang i løpet av et omløp, hvordan sammenligne det opp mot tålegrenser?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Syntes det var informativt å gjøre, for det er veldig store mengder selv om det bare er én gang. <p>Angående tålegrenser, kommer an på hva man mener med å tåle. Hvis man ikke vil påvirke et skogsøkosystem så det endrer seg, så skal man ikke gjødsle, siden det påvirker økosystemet. Skal ikke innbille seg at man kan gjødsle i stor skala uten at man får en annerledes skog.</p> <p>Det er en villet endring av økosystemet. Være tydelige på hvorfor ting gjøres. Og være sikrere på hvor det gjøres, og hvor det ikke gjøres.</p> <p>Tålegrenser er en interessant diskusjon – satt for nitrogennedfall fra lufta, over alt. Gjødsling er på spesifikke felt som skal hogges om noen år. Det er to forskjellige ting.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ikke helt enig, tålegrensen har med økosystemet å gjøre og biologisk mangfold. Synes ikke det er helt feil å sammenligne.
7	Diskusjon	<p>Forslag: ny workshop om substitusjon</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ikke grunnlag for det i dette oppdraget, selv om det er interessant. <p>Diskusjon utgår pga. tidsbruk på spørsmål og diskusjon underveis.</p>

OPPSUMMERING

- Det har ikke kommet ny kunnskap etter 2014 som endrer konklusjonene fra rapport M174-2014 «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak», heller resultater som styrker konklusjonene.
- Gjødsling gir økt tilvekst og økt karbonbinding.
- Det er ikke kommet ny kunnskap til å endre dagens retningslinjer.

Sideskift

Vedlegg 1

Referanseliste fra workshop

Aarrestad mfl. 2003. Effekter av treslagsskifte, treplanting og nitrogen gjødsling i skog på biologisk mangfold. Kunnskapsgrunnlag for å vurdere skogtiltak i klimasammenheng. NINA rapport 959. Norsk Institutt for Naturforskning.

Addison mfl. 2019. Effects of forest harvest and fertilizer amendment on soil biodiversity and function can persist for decades. *Soil Biology and Biochemistry* 135: 194-205.

Almeida mfl. 2019. Ectomycorrhizal community composition and function in a spruce forest transitioning between nitrogen and phosphorus limitation. *Fungal Ecology* 40: 20-31.

Austnes mfl. 2018. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge. Oppdatering med perioden 2012-2016. NIVA Rapport M-966

Bardgett, R. D. & van der Putten, W. H., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* 515: 505-511.

Baul mfl. 2017. Net climate impacts and economic profitability of forest biomass production and utilization in fossil fuel and fossil-based material substitution under alternative forest management. *Biomass & Bioenergy* 98: 291-305.

Bergh, J., Nilsson, U., Allen, H. L., Johansson, U., & Fahlvik, N., 2014. Long-term responses of Scots pine and Norway spruce stands in Sweden to repeated fertilization and thinning. *For. Ecol. Manage.* 320, ss. 118-128. doi:10.1016/j.foreco.2014.02.016

Bergsaker, E., 2018. Gjødslingsøkonomi. Beregning av lønnsomhet fra 3 gjødslingsforsøk. NORSKOG Rapport 2018-1. 27 s.

Berthrong mfl. 2014. Nitrogen fertilization has a stronger effect on soil nitrogen-fixing bacterial communities than elevated atmospheric CO₂. *Appl Environ Microbiol* 80: 3103-3112.

Brooks, J. R. & Coulombe, R. 2009. Physiological responses to fertilization recorded in tree rings: isotopic lessons from a long-term fertilization trial. *Ecological Applications* 19: 1044-1060. <https://doi.org/10.1890/08-0310.1>

Chan, A. S. K., Steudler, P. A., Bowden, R. D., Gullledge, J. & Cavanaugh, C., 2005. Consequences of nitrogen fertilization on soil methane consumption in a productive temperate deciduous forest. *Biology and Fertility of Soils* 41(3):182-189

Choma mfl. 2017. Recovery of the ectomycorrhizal community after termination of long-term nitrogen fertilization of a boreal Norway spruce forest. *Fungal Ecology* 29:116-122.

Coucheney mfl. 2013. Long-term fertilization of a boreal Norway spruce forest increases the temperature sensitivity of soil organic carbon mineralization. *Ecology and Evolution* 3: 5177-5188.

Deluca, T.H. & Boisvenue, C. 2012. Boreal forest soil carbon: distribution, function and modelling. *Forestry* 85: 161-184.

Demoling mfl. 2008. Bacterial and fungal response to nitrogen fertilization in three coniferous forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 370-379.

Du mfl. 2019. Effects of nitrogen deposition on growing-season soil methane sink across global forest biomes. *Environmental Science. Biogeosciences Discussion*. DOI:10.5194/BG-2019-29.

Eastman mfl. 2021. Altered plant carbon partitioning enhanced forest ecosystem carbon storage after 25 years of nitrogen additions. *New Phytologist*. doi: 10.1111/nph.17256

Eggleston, H S, Buendia, L, Miwa, K, Ngara, T, & Tanabe, K. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan.

Ehtesham, E. & Bengtson, P., 2017. Decoupling of soil carbon and nitrogen turnover partly explains increased net ecosystem production in response to nitrogen fertilization. *Scientific reports* 7.

Forsmark mfl. 2020. Low and High Nitrogen Deposition Rates in Northern Coniferous Forests Have Different Impacts on Aboveground Litter Production, Soil Respiration, and Soil Carbon Stocks. *Ecosystems* 23: 1423-1436.

Forsmark mfl. 2021. Anthropogenic nitrogen enrichment increased the efficiency of belowground biomass production in a boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry* 155: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108154>

From, F., Strengbom, J. & Nordin, A., 2015. Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest. *Forests* 6, s. 1145-1156.

Giordani mfl. 2014. Detecting the nitrogen critical loads on European forests by means of epiphytic lichens. A signal-to-noise evaluation. *Forest Ecology and Management* 311: 29-40.

Gulledge, J., Hrywna, Y., Cavanaugh, C. & Steudler, P. A., 2004. Effects of long-term nitrogen fertilization on the uptake kinetics of atmospheric methane in temperate forest soils, *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 49, Issue3, September 2004, Pages 389–400, <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.04.013><https://academic.oup.com/femsec/article/49/3/389/584527>

Gustavsson mfl. 2017. Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67: 612-624.

Haas mfl. 2018. Microbial community response to growing season and plant nutrient optimization in a boreal Norway spruce forest. *Soil Biology and Biochemistry* 125: 197-209.

Hanssen, K. H., Asplund, J., Clarke, N., Selmer, R. & Nybakken, L., 2020. Fertilization of Norway spruce forest with wood ash and nitrogen affected both tree growth and composition of chemical defence. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93: 589-600. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpzo78>

Haugland mfl. 2014. Måltrettet gjødsling av skog som klimatiltak. Egnede arealer og miljøkriterier. Rapport M174|2014. Miljødirektoratet.

Hedwall mfl. 2011. Decreased variation of forest understory vegetation is an effect of fertilization in young stands of Picea abies. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26: 46-55.

Hedwall mfl. 2014. Fertilization in northern forests –Biological, economic and environmental constraints and possibilities. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29: 301-311.

- Henriksson mfl. 2021.** Tree water uptake enhances nitrogen acquisition in a fertilized boreal forest – but not under nitrogen-poor conditions. *New Phytologist* 232: 113-122. <https://doi.org/10.1111/nph.17578>
- Högberg mfl. 2010.** Quantification of effects of season and nitrogen supply on tree below-ground carbon transfer to ectomycorrhizal fungi and other soil organisms in a boreal pine forest. *New Phytologist* 187: 485-493. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03274.x>
- Högberg mfl. 2011.** Recovery of ectomycorrhiza after ‘nitrogen saturation’ of a conifer forest. *New Phytologist* 189: 515-525. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03485.x>
- Högberg mfl. 2014.** The return of an experimentally N-saturated boreal forest to an N-limited state: observations on the soil microbial community structure, biotic N retention capacity and gross N mineralization. *Plant Soil* 381, 45–60 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2091-z>
- Högberg mfl. 2017.** Tamm Review: On the nature of the nitrogen limitation to plant growth in Fennoscandian boreal forests. *Forest Ecology and Management* 403: 161-185.
- Håkansson mfl. 2021.** Effects of fertilization on soil CH₄ and N₂O fluxes in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 499: 119610.
- Korkiakoski mfl. 2020.** Impact of partial harvest on CH₄ and N₂O balances of a drained boreal peatland forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 295: 108168.
- Lim mfl. 2015.** Inter-annual variability of precipitation constrains the production response of boreal *Pinus sylvestris* to nitrogen fertilization. *Forest Ecology and Management* 348: 31-45
- Liu, L. & Greaver, T. L., 2009:** A review of nitrogen enrichment effects on three biogenic GHGs: the CO₂ sink may be largely offset by stimulated N₂O and CH₄ emission. *Ecology Letters* 12: 1103-17.
- Lladó mfl. 2017.** Forest Soil Bacteria: Diversity, Involvement in Ecosystem Processes, and Response to Global Change. *Microbiol Mol Biol Rev.* 81: e00063-16.
- Lucander mfl. 2021.** The Effect of Nitrogen Fertilization on Tree Growth, Soil Organic Carbon and Nitrogen Leaching—A Modeling Study in a Steep Nitrogen Deposition Gradient in Sweden. *Forests* 12: 298.
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B.C. mfl., 2014.** Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests* 5, s. 557-578.
- Maaroufi mfl. 2018.** Nutrient optimization of tree growth alters structure and function of boreal soil food webs. *Forest Ecology and Management* 428: 46-56
- Maaroufi mfl. 2019.** Anthropogenic nitrogen enrichment enhances soil carbon accumulation by impacting saprotrophs rather than ectomycorrhizal fungal activity. *Global Change biology* 25: 2900-2914. <https://doi.org/10.1111/gcb.14722>
- Marupakula mfl. 2021.** Root associated fungi respond more strongly than rhizosphere soil fungi to N fertilization in a boreal forest. *Science of the Total Environment* 766:142597.

Mayer, M., Prescott, C., Abaker, W., mfl. 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management* 466: 118127

Meld. St. 13. (2020 – 2021) Klimaplan for 2021–2030. Prosess 21. 2020. Biobasert Prosessindustri Prosess21 Ekspertgrupperapport. Rapport.

Mohanty, S. R., Bodelier, P. L. E., Floris, V. & Conrad, R., 2020. Differential Effects of Nitrogenous Fertilizers on Methane-Consuming Microbes in Rice Field and Forest Soils. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 72, No. 2

Midolo mfl. 2019. Impacts of nitrogen addition on plant species richness and abundance: A global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography* 28: 398-413.

Nave mfl. 2009. Impacts of elevated N inputs on north temperate forest soil C storage, C/N, and net N-mineralization. *Geoderma* 153, s. 231-240.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.012>

Naylor mfl. 2020. Soil Microbiomes Under Climate Change and Implications for Carbon Cycling. *Annual Review of Environment and Resources* 45: 29-59.

Nybakken, L., Lie, M. H., Julkunen-Tiitto, R., Asplund, J. & Ohlson, M. 2018. Fertilization Changes Chemical Defense in Needles of Mature Norway Spruce (*Picea abies*). *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00770>

Raworth, K. 2017. A Doughnut for the Anthropocene: humanity's compass in the 21st century. *The Lancet* 1: E48-49.

Rockström mfl. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475.

Rodriguez mfl. 2021. Boreal forest fertilization leads to functional homogenization of ground beetle assemblages. *Journal of Applied Ecology* 58: 1145-1154.

Routa, J., Kilpeläinen, A., Ikonen, V. P., Asikain, A., Venäläinen, A., & Peltola, H., 2019. Effects of intensified silviculture on timber production and its economic profitability in boreal Norway spruce and Scots pine stands under changing climatic conditions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. doi:10.1093/forestry/cpz043

Rütting mfl. 2021. Low Nitrous Oxide Emissions in a Boreal Spruce Forest Soil, Despite Long-Term Fertilization. *Front. For. Glob. Change*. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.710574>

Samuelson, L. J., Farris, M. G., Stokes, T. A., Coleman, M. D., 2008. Fertilization but not irrigation influences hydraulic traits in plantation-grown loblolly pine. *Forest Ecology and Management*. 255: 3331-3339. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.014>

Siljanen mfl. 2020. Atmospheric impact of nitrous oxide uptake by boreal forest soils can be comparable to that of methane uptake. *Plant and Soil* 454: 121-138.

Stedler, P., Bowden, R., Melillo, J. mfl., 1989. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. *Nature* 341, 314–316 (1989). <https://doi.org/10.1038/341314a0>https://harvardforest1.fas.harvard.edu/sites/harvardforest.fas.harvard.edu/files/publications/pdfs/Steudler_Nature_1989.pdf

- Strengbom, J. & Nordin, A., 2008.** Commercial forest fertilization causes long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest Ecology and Management* 256: 2175-2181.
- Subedi, P. & Ferdous, Z., 2021.** Masteroppgaver NMBU
- Sullivan, T. P. & Sullivan, D. S., 2018.** Influence of nitrogen fertilization on abundance and diversity of plants and animals in temperate and boreal forests. *Environmental Reviews* 26: 26-42.
- Suz mfl. 2021.** Ectomycorrhizas and tipping points in forest ecosystems. *New Phytologist* 231: 1700-1707.
- Tahovská mfl. 2020.** Positive response of soil microbes to long-term nitrogen input in spruce forest: Results from Gårdsjön whole-catchment N-addition experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 143: 107732.
- Tarvainen mfl. 2016.** Increased Needle Nitrogen Contents Did Not Improve Shoot Photosynthetic Performance of Mature Nitrogen-Poor Scots Pine Trees. *Front. Plant. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01051>.
- Van der Linde mfl. 2018.** Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature* 558: 243-248.
- Van Sundert mfl. 2018.** The influence of soil properties and nutrients on conifer forest growth in Sweden, and the first steps in developing a nutrient availability metric. *Biogeosciences* 15: 3475-3496.
- Wallenstein mfl. 2006.** Nitrogen fertilization decreases forest soil fungal and bacterial biomass in three long-term experiments. *Forest Ecology and Management* 222: 459-468.
- Wang mfl. 2021.** Microbial necromass as the source of soil organic carbon in global ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 162: 108422.
- Werner F., R. Taverna, P. Hofer, E. Thürig, & E. Kaufmann, 2010.** National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a modelbased assessment. *Environmental Science & Policy* 13, 72 – 85
- Whalen, S. C. & Reeburgh, W. S., 2000.** Effect of nitrogen fertilization on atmospheric methane oxidation in boreal forest soils. *Chemosphere- Global Change Science*, 2(2), 151-155. [http://dx.doi.org/10.1016/S1465-9972\(00\)00003-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1465-9972(00)00003-9) Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/48k10791>
- Xia mf. 2020.** Effects of nitrogen addition on soil methane uptake in global forest biomes. *Environmental Pollution* 264: 114751.
- Xu mfl. 2021.** Long-term, amplified responses of soil organic carbon to nitrogen addition worldwide. *Global Change Biology* 27, s. 1170-1180. DOI: 10.1111/gcb.15489
- Zeng mfl. 2010. Zeng, D.-H., Li, L.-J., Fahey, T.J., Yu, Z.-Y., Fan, Z.-P. & Zhen, F.-S. 2010.** Effects of nitrogen addition on vegetation and ecosystem carbon in a semi-arid grassland. *Biogeochemistry* 98: 185–193.

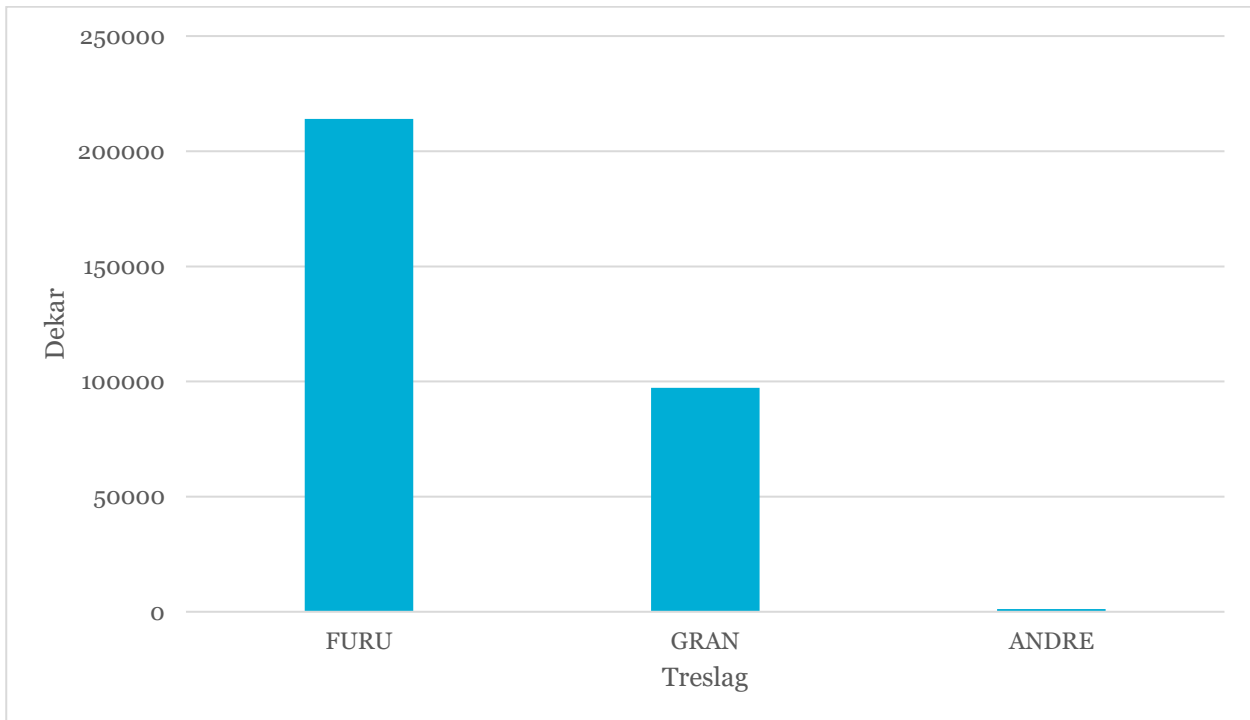
Zhang mfl. 2018. Global negative effects of nitrogen deposition on soil microbes. *ISME Journal* 12: 1817–1825.

Zhong mfl. 2016. The effects of nitrogen enrichment on soil CO₂ fluxes depending on temperature and soil properties. *Global Ecology and Biogeography* 25: 475-488.

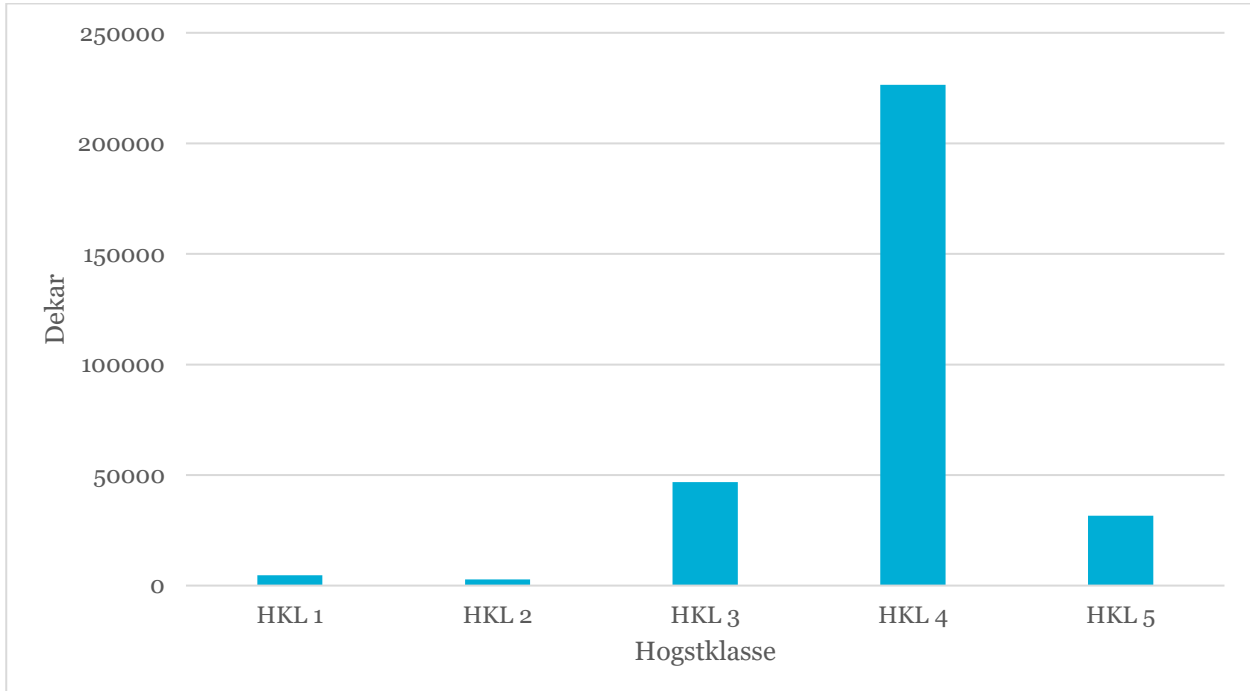
Zhou mfl. 2016. Thirty four years of nitrogen fertilization decreases fungal diversity and alters fungal community composition in black soil in northeast China. *Soil Biology and Biochemistry* 95: 135-143.

Zhu mfl. 2021. The morphological and chemical properties of fine roots respond to nitrogen addition in a temperate Schrenk's spruce (*Picea Schrenkiana*) forest. *Scientific Reports* 11: 3839.

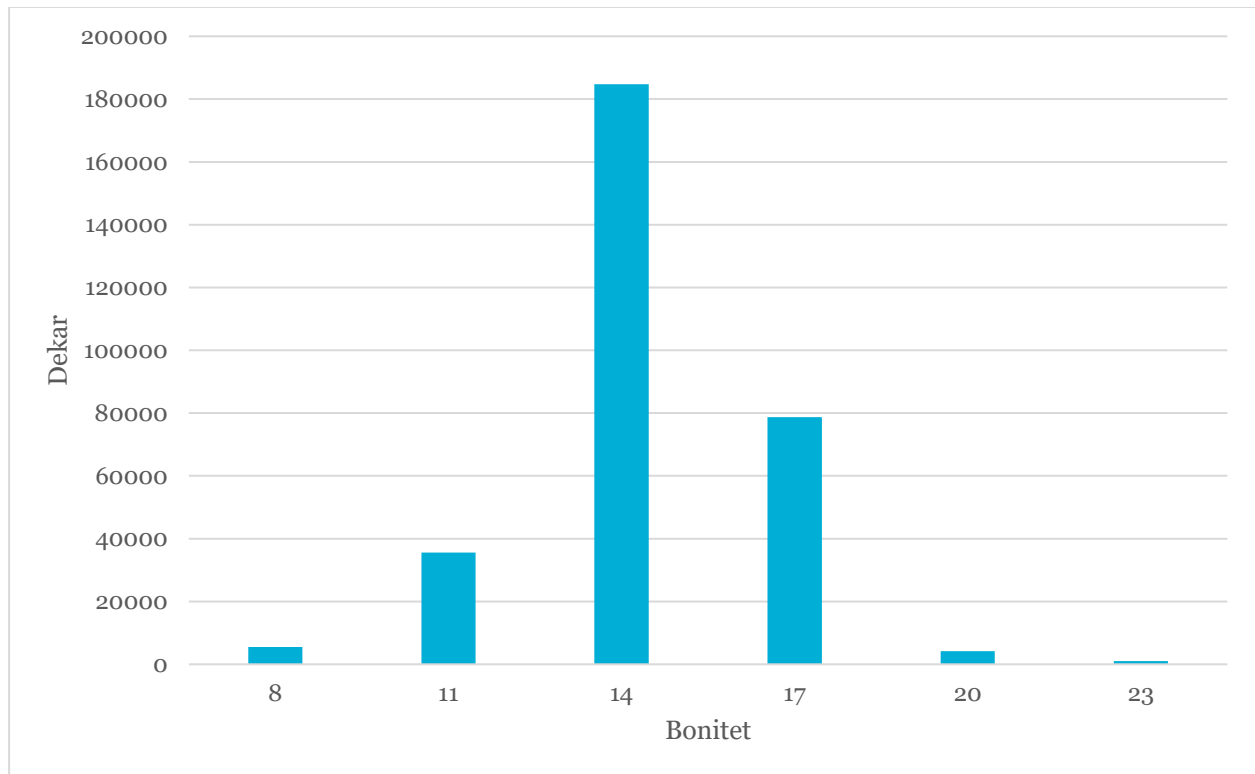
8.3 Statistikk for perioden 2016-2020



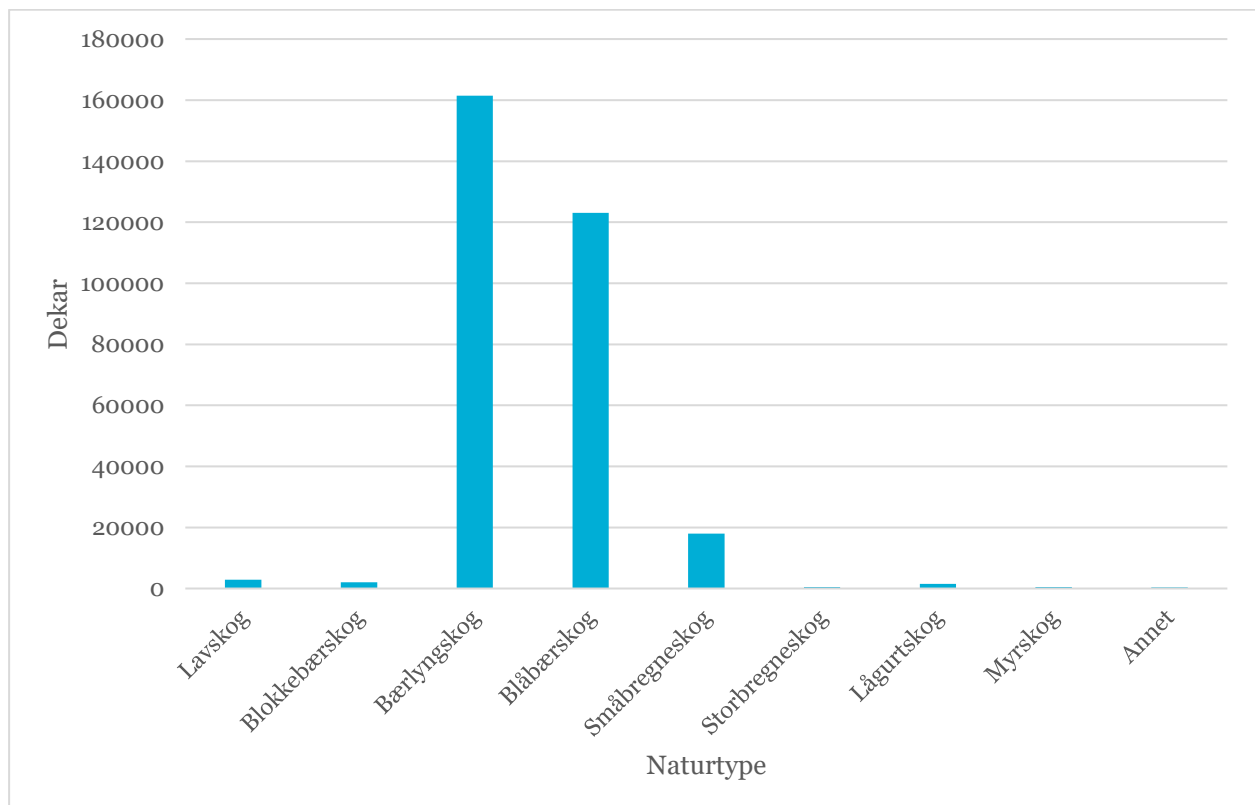
Figur 7: Gjødslingsareal fordelt på treslag i perioden 2016-2020.



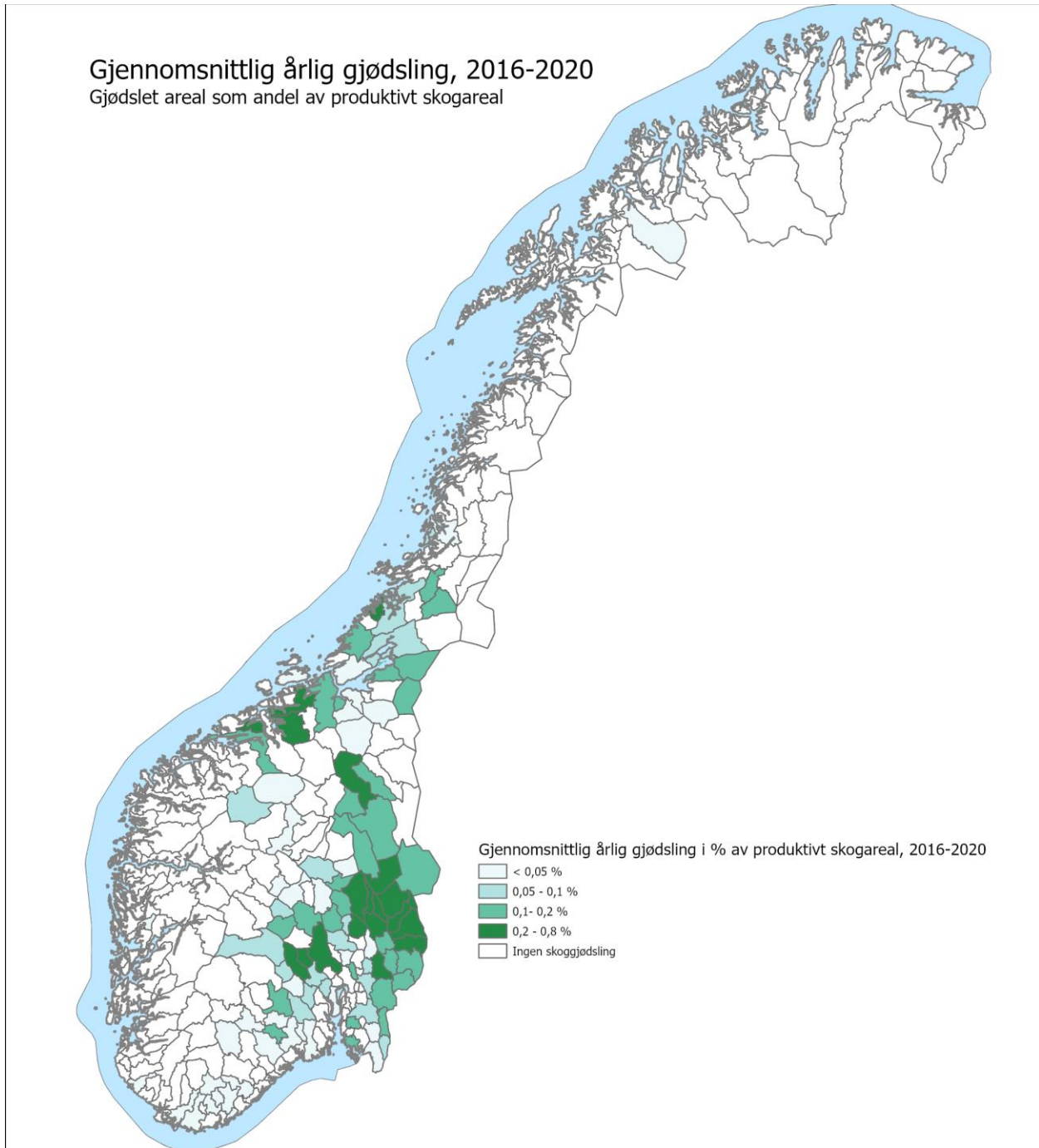
Figur 8: Gjødslingsareal fordelt på hogstklasser i perioden 2016-2020.



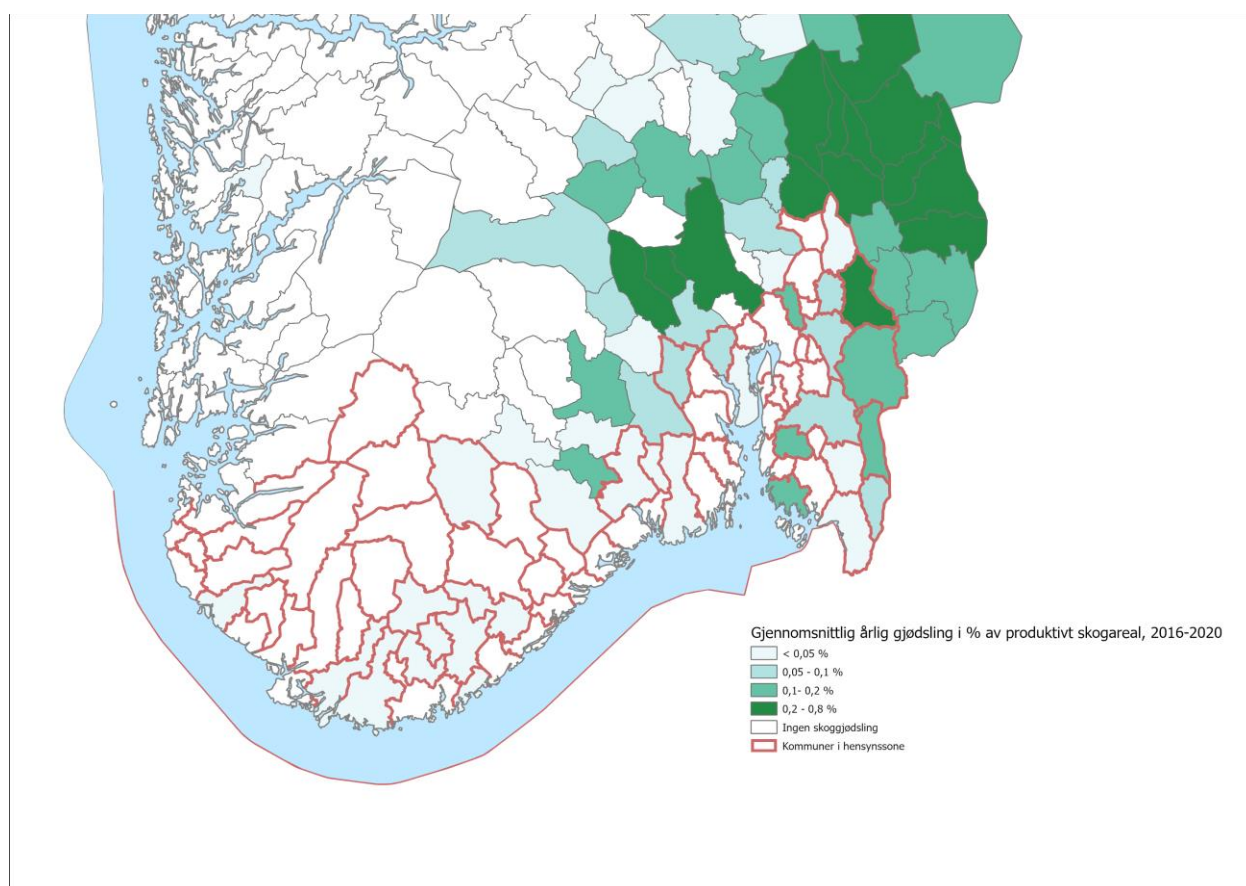
Figur 9: Gjødset areal fordelt på bonitet i perioden 2016-2020.



Figur 10: Gjødset areal fordelt på de aktuelle naturtypene i perioden 2016-2020.



Figur 11: Gjennomsnittlig årlig gjødslet areal i % av produktivt skogareal i kommunen (Landbruksdirektoratet).



Figur 12: Gjennomsnittlig årlig gjødslet areal i % av produktivt skogareal i kommuner som ligger innenfor hensynssonen (markert med rødt).

8.4 Kommuner innenfor hensynssonen

Tabell 3: Kommuner som ligger innenfor hensynssonen. For de kommunene som har slått seg sammen siden 2014, vil de gamle navnene og kommunenumrene stå i kolonne 1 og 2. I tillegg er fylker sammenslått.

Kommunenr. (Gammel)	Gamle kommunenavn	Kommunenr. (Ny)	Nye kommunenavn	Fylke
0301	Oslo	0301	Oslo	Oslo
0101	Halden	3001	Halden	Viken
0104, 0136	Moss, Rygge	3002	Moss	Viken
0105	Sarpsborg	3003	Sarpsborg	Viken
0106	Fredrikstad	3004	Fredrikstad	Viken
0602, 0625, 0711	Drammen, Nedre Eiker, Svelvik	3005	Drammen	Viken
0111	Hvaler	3011	Hvaler	Viken
0118	Aremark	3012	Aremark	Viken
0119	Marker	3013	Marker	Viken

0122, 0138, 0123, 0124, 0125	Trøgstad, Hobøl, Spydeberg, Askim, Eidsberg	3014	Indre Østfold	Viken
0127	Skiptvet	3015	Skiptvet	Viken
0128	Rakkestad	3016	Rakkestad	Viken
0135	Råde	3017	Råde	Viken
0137	Våler	3018	Våler (Viken)	Viken
0211	Vestby	3019	Vestby	Viken
0217, 0213	Oppegård, Ski	3020	Nordre Follo	Viken
0214	Ås	3021	Ås	Viken
0215	Frogn	3022	Frogn	Viken
0216	Nesodden	3023	Nesodden	Viken
0219	Bærum	3024	Bærum	Viken
0220, 0628, 0627	Asker, Hurum, Røyken	3025	Asker	Viken
0221, 0121	Aurskog-Høland, Rømskog	3026	Aurskog-Høland	Viken
0228	Rælingen	3027	Rælingen	Viken
0229	Enebakk	3028	Enebakk	Viken
0230	Lørenskog	3029	Lørenskog	Viken
0226, 0227, 0231	Sørum, Fet, Skedsmo	3030	Lillestrøm	Viken
0233	Nittedal	3031	Nittedal	Viken
0234	Gjerdrum	3032	Gjerdrum	Viken
0235	Ullensaker	3033	Ullensaker	Viken
0236	Nes	3034	Nes	Viken
0237	Eidsvoll	3035	Eidsvoll	Viken
0238	Nannestad	3036	Nannestad	Viken
0239	Hurdal	3037	Hurdal	Viken
0624	Øvre Eiker	3048	Øvre Eiker	Viken
0626	Lier	3049	Lier	Viken
0701	Borre	3801	Horten	Vestfold og Telemark
0702, 0713, 0714	Holmestrand, Sande, Hof	3802	Holmestrand	Vestfold og Telemark
0704, 0716, 0718	Tønsberg, Våle, Ramnes	3803	Tønsberg	Vestfold og Telemark
0706, 0719, 0720	Sandefjord, Andebu, Stokke	3804	Sandefjord	Vestfold og Telemark
0709, 0728	Larvik, Lardal	3805	Larvik	Vestfold og Telemark
0805	Porsgrunn	3806	Porsgrunn	Vestfold og Telemark
0806	Skien	3807	Skien	Vestfold og Telemark
0723, 0722	Tjøme, Nøtterøy	3811	Færder	Vestfold og Telemark
0811	Siljan	3812	Siljan	Vestfold og Telemark
0814	Bamble	3813	Bamble	Vestfold og Telemark
0815	Kragerø	3814	Kragerø	Vestfold og Telemark
0830	Nissedal	3822	Nissedal	Vestfold og Telemark
0831	Fyresdal	3823	Fyresdal	Vestfold og Telemark

1101	Eigersund	1101	Eigersund	Rogaland
1102, 1129	Sandnes, Forsand	1108	Sandnes	Rogaland
1111	Sokndal	1111	Sokndal	Rogaland
1112	Lund	1112	Lund	Rogaland
1114	Bjerkreim	1114	Bjerkreim	Rogaland
1119	Hå	1119	Hå	Rogaland
1120	Klepp	1120	Klepp	Rogaland
1121	Time	1121	Time	Rogaland
1122	Gjesdal	1122	Gjesdal	Rogaland
1124	Sola	1124	Sola	Rogaland
0901	Risør	4201	Risør	Agder
0904	Grimstad	4202	Grimstad	Agder
0906	Arendal	4203	Arendal	Agder
1001, 1017, 1018	Kristiansand, Songdalen, Søgne	4204	Kristiansand	Agder
1029, 1002, 1021	Lindesnes, Mandal, Marnardal	4205	Lindesnes	Agder
1003	Farsund	4206	Farsund	Agder
1004	Flekkefjord	4207	Flekkefjord	Agder
0911	Gjerstad	4211	Gjerstad	Agder
0912	Vegårshei	4212	Vegårshei	Agder
0914	Tvedestrand	4213	Tvedestrand	Agder
0919	Froland	4214	Froland	Agder
0926	Lillesand	4215	Lillesand	Agder
0928	Birkenes	4216	Birkenes	Agder
0929	Åmli	4217	Åmli	Agder
0935	Iveland	4218	Iveland	Agder
0937	Evje og Hornnes	4219	Evje og Hornnes	Agder
0938	Bygland	4220	Bygland	Agder
0940	Valle	4221	Valle	Agder
0941	Bykle	4222	Bykle	Agder
1014	Vennesla	4223	Vennesla	Agder
1026	Åseral	4224	Åseral	Agder
1032, 1027	Lyngdal, Audnedal	4225	Lyngdal	Agder
1034	Hægebostad	4226	Hægebostad	Agder
1037	Kvinesdal	4227	Kvinesdal	Agder
1046	Sirdal	4228	Sirdal	Agder

LANDBRUKSDIREKTORATET OSLO

POSTADRESSE:
Postboks 1450 Vika, 0116 Oslo

BESØKSADRESSE:
Stortingsgt. 28, 0161 Oslo

TELEFON: 78 60 60 00

E-POST: postmottak@landbruksdirektoratet.no

LANDBRUKSDIREKTORATET ALTA

BESØKSADRESSE:
Løkkeveien 111, 9510 Alta

LANDBRUKSDIREKTORATET STEINKJER

BESØKSADRESSE:
Skolegata 22, C-bygget, 7713 Steinkjer

www.landbruksdirektoratet.no
