



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

NIBIO RAPPORT | NIBIO REPORT

VOL.: 1, NR.: 24, 2015

KONSENTRASJONER AV METAN OG KARBONDIOKSID I GRANTRÆR

– infisert med råtesopp og foreløpige beregninger
av årlige flukser på bestandsnivå



HARALD KVAALEN¹, ARI HIETALA¹, PETER DÖRSCH² OG HALVOR SOLHEIM¹

¹ NIBIO, ² NMBU, IMV-Jord

TITTEL/TITLE

KONSENTRASJONER AV METAN OG KARBONDIOKSID I GRANTRÆR INFISERT MED RÅTESOPP OG FORELØPIGE BEREGNINGER AV ÅRLIGE FLUKSER PÅ BESTANDSNIVÅ

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

HARALD KVAALEN, ARI HIETALA, PETER DÖRSCH OG HALVOR SOLHEIM

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
25.11.2015	1/24/2015	Åpen	136007	2015/1775
ISBN-NR./ISBN-NO:	ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:	ISSN-NR./ISSN-NO:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-01479-9	Versjon nr	ISSN 2464-1162	25	0

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Utviklingsfondet for skogbruk og Norges skogeierforbund (Skogtiltaksfondet)

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Halvor Solheim

STIKKORD/KEYWORDS:

Rotrâte, klimaendringer, skogbehandling, CO₂, CH₄

Rootrot, climate change, forest management, CO₂, CH₄

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skoghelse

Forest health

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Rot-og stammerâte er utbredt i norske granskog og fører til store verditap. Râte medfører også at karbon som tidligere er fiksert fra atmosfæren lekker ut igjen og bidrar dermed til at nettofikseringen av karbon blir lavere enn det som beregnes ved bruk av tilvekstmålinger og biomasseekspansjonsfaktorer.

Det er tidligere også vist at råtnede trær kan ha betydelige metanutslipp. Metan, CH₄, er en mye kraftigere klimagass enn CO₂, slik at ganske små metanflukser vil kunne medføre et betydelig strålingspådriv fra råtnede skog. Litteraturen tyder imidlertid på at utslippene av CH₄ kan variere mye avhengig av treslag og bestandsforhold. Her har vi målt konsentrasjonen av CO₂, CH₄, O₂, N₂O og N₂ i trettiåtte trær fra syv bestand på Østlandet. Vi har utviklet en metode for å estimere diffusjonskoeffisienten i ved. Denne trengs for å beregne gassflukser fra stammene. På grunnlag av representativ informasjon om râteforekomst i ulike fylker har vi beregnet hvor stor del av karbonfiksering i stammen som tapes på grunn av râte. Ulike typer råtnede ved fra et tre med høy metanproduksjon er undersøkt i laboratoriet for å finne produksjonspotensialet for CH₄ og CO₂. Undersøkelsen har vist at râte trær har mye høyere konsentrasjoner av CO₂ i stammene



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIØKONOMI

enn friske trær. Samtidig er det mindre diffusjonsmotstand i råtne trær slik at fluksen av CO₂ ut fra stammen kunne være mange ganger høyere enn i friske trær. Fluksene av CO₂ og CH₄ beregnet med denne metoden, stemte ganske bra med publiserte verdier. CO₂ fluksene var høyest i stubbehøyde der råtten var eldst og avtok eksponentielt med avstanden fra stubbehøyde. Dette tyder på at nedbrytingen av ved og CO₂ fluksen ut av stammen øker eksponentielt med råtens alder. Når CO₂ fluksen ble modellert som en eksponentiell funksjon av avstanden fra råtens toppunkt i stammen, og ble koblet med data for råteforekomst og årlig vertikal råtenspredning, fant vi at nettobindingen av CO₂ i stammeveden var redusert med 20-30 prosent i bestand der tjue prosent av trærne var infisert med granrotkjuke (*Heterobasidion parviporum*). I en del trær ble det også funnet ganske høye konsentrasjoner av CH₄, men de fleste råtne trær hadde CH₄ konsentrasjoner på atmosfærisk nivå og de beregnede fluksene av CH₄ var så lave at denne gassen neppe har mye å si for skogens klimaregnskap på fastmark på Østlandet. Det samme gjaldt for den enda sterkere klimagassen N₂O. Vi kan foreløpig konkludere med at CO₂ utslippene fra bestand med mye råde og lav tilvekst er så store at det kan bety en del for klimaregnskapet og for hvilken skogbehandling som er best som klimatiltak. Men undersøkelsen omfatter relativt få bestand og trær. Det trengs derfor data fra flere år, steder og trær, samt målinger av CO₂ tapet via barmassen for å få sikrere resultater.

Root and stem decay are very frequent in Norway spruce forests in Norway and cause great economic losses. As an additional consequence of decay, the carbon fixed in wood is released back to atmosphere, and thereby the net carbon fixation in trees is lower than the estimates based on tree growth and biomass expansion factors.

It has been previously shown that decayed trees can also release significant amount of methane. Methane, CH₄, is a more effective greenhouse gas than CO₂, and even small methane fluxes could cause a significant radiative forcing effect from decaying forests. The literature available indicates that release of methane varies greatly between tree species and forest stand conditions. Here we have measured the concentrations of CO₂, CH₄, O₂, N₂O and N₂ in 39 Norway spruce trees from seven forest stands located in east-Norway. We developed a method to estimate diffusion coefficients in wood in order to estimate gas fluxes from stem. By using data available about the frequency of decay in different regions we estimated the proportion of decay related loss of carbon fixed in wood. Samples taken from wood at different stages of decay from a tree with high stem concentrations of methane were examined in laboratory to determine production potentials of CH₄ and CO₂. The study showed that decaying trees have considerably higher stem concentrations of CO₂ than healthy trees. Further, the gas diffusion resistance is lower in decaying trees and their CO₂ flux can be several folds higher than that of healthy trees. The CH₄ and CO₂ fluxes estimated with our method were in line with findings from previous studies. Fluxes of CO₂ were greatest at stump level in the oldest part of wood decay column and declined exponentially along with distance away from stump level. This indicates that wood degradation and CO₂ flux increase exponentially with the age of decay. When the CO₂ flux was modelled as

an exponential function of distance from the top of the decay column and coupled with data about the frequency and annual vertical spread of decay, we discovered that net fixation of CO₂ in stem wood was reduced by 20-30 % at stands, where 20 % of the trees were infected by *Heterobasidion parviporum*, a fungus specific to Norway spruce. Some trees showed also fairly high CH₄ concentrations, but in most of the trees with decay the CH₄ concentrations were comparable to that present in atmosphere, and the estimated CH₄ fluxes were so low that this gas is hardly of any significance for the carbon budget of forests on well-drained lands in east-Norway. We reached the same conclusion for NO₂. We conclude that CO₂ release from forest stands with high frequency of decay and low tree growth is so significant that it can affect the carbon budget of a stand, and therefore needs to be taken into account when considering the forest management practice from the perspective of climate change mitigation. However, our study included relatively few forest stands and trees – therefore, more intensive studies including the monitoring of a large number of trees at several stands across seasons, and measuring of CO₂ release through needles are needed to obtain robust estimates.

LAND/COUNTRY:

FYLKE/COUNTY:

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

STED/LOKALITET:

GODKJENT /APPROVED

Paal Krokene

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Halvor Solheim

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

INNHold

1	INNLEDNING.....	6
2	MATERIALE OG METODER.....	8
2.1	Lokaliteter	8
2.2	Prøvetrær og prøvetaking	8
2.3	Gass analyser	8
2.2	CH ₄ og CO ₂ produksjonspotensial i råtne vedprøver.....	8
2.3	Oppskalering av CO ₂ flukser fra råtne trær til bestandsnivå	9
2.4	Oppskalering av CO ₂ flukser fra nedbryting av kjerneved til bestandsnivå	10
3	RESULTATER	14
3.1	Konsentrasjonen av O ₂ , CO ₂ og CH ₄ i stammer av råtne og friske trær	14
3.2	Produksjonspotensialet for CO ₂ og CH ₄ i ulike vev fra treet med høyest CH ₄ produksjon	18
3.3	Oppskalering av CO ₂ flukser fra råtnende kjerneved til bestands og regionnivå	20
4	DISKUSJON	21

1 INNLEDNING

Skogen i Norge har et netto CO₂ opptak i biomassen i levende trær som er beregnet til å være ca 25 millioner tonn per år tilsvarende ca halvparten av landets samlede CO₂ utslipp. I disse beregningene er det ennå ikke tatt hensyn til at der er omfattende råte i levende trær (Hysten pers. medd.). Omfanget av råte er størst og samtidig best kartlagt i norsk gran, der ulike undersøkelser har vist at hvert fjerde tre som hogges er infisert, hovedsakelig med granrotkjuke (*Heterobasidion parviporum*) eller honningsopp (*Armillaria* spp.) (Huse et al. 1994). Fordi en stor del av treets biomasse finnes i den nedre delen av stammen hvor råtesoppene etter hvert bryter ned mye av veden, er det tenkelig at CO₂ binding i råtnende trær er betydelig lavere enn i friske. Tidligere undersøkelser (Zeikus 1974) har vist at råtnede trær også kan ha svært høye konsentrasjoner av metan. I laboratorieforsøk fant Mukhin og Voronin (2008) at produksjonen av CH₄ var en sjettedel av CO₂ dannelsen. Fordi CH₄ har ca tretti ganger større strålingspådriv enn CO₂, (<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/ch4.html>), ville en så høy metanproduksjon gi råtnede trær et stort netto strålingspådriv. Covey et al. (2012) fant også at i nordamerikansk løvtrær var metankonsentrasjonen opptil åtti tusen ganger høyere enn atmosfærisk konsentrasjon som er i underkant av to parter per million. Konsentrasjonen i bartrær som *Tsuga canadensis* og *Pinus strobus* var derimot mye lavere. Forfatterne anslo at det gjennomsnittlige strålingspådrivet fra metanfluksen på bestandsnivå tilsvarte ca atten prosent av den totale karbonassimilasjonen. Om slike tall var representative for temperert og nordlig skog vil det samlede strålingspådrivet fra CH₄ og CO₂ fra råtnende trær være stort nok til å påvirke skogens karbon/strålingsregnskap i betydelig grad.

Råte er et betydelig problem i norsk skogbruk. På Landskogtakseringen sine temporære prøveflater i fylkestakstene ble derfor trærne som ble boret for å bestemme alder og tilvekst også taksert med hensyn til forekomsten av råte. Flatene er tilfeldig utlagt og prøvetrærne er plukket ut med relaskop, slik at de utgjør et representativt utvalg fra norsk skog. Fra disse undersøkelsene er det beregnet volum råteskadd gran i hvert fylke. Ut fra forholdet mellom alder og råteskaddvolum kan en anslå at råtefrekvensen i granskogen på Østlandet øker med ca 0,3 prosent per år. I Hedmark fylke hvor råteforekomsten er undersøkt i to takster, var det om lag samme årlige økning i råtefrekvensen. Råteforekomsten ser ut til å øke jevnt og trutt med alderen, eller med tiden i et og samme bestand, selv om skader fra skogsdrift, beiting og vindslit kan ha stor betydning. I gammel urskog i Russland er det vanlig at tretti til femti prosent av trærne er råtne (Gromtsev 2002).

Utslipp av CH₄ og CO₂ fra råtnende trær er en lekkasje fra skogens karbonlager til atmosfæren. Fordi råten tiltar med økende alder ved at flere trær infiseres og råten utvikler seg i det enkelte tre, må denne lekkasjen øke med bestandsalderen. Råte vil derfor kunne påvirke både det maksimale karbonlageret i et gitt bestand, og hva som er optimal skogbehandling med tanke på å lagre mest mulig karbon i det enkelte bestand og i skogen som helhet.

Trærnes egen respirasjon i levende celler i røtter, nåler og stammeved bidrar til at CO₂ konsentrasjonen i stammen når opp i fem til ti prosent, mer enn hundre ganger høyere enn atmosfærisk nivå. Det byr på visse metodiske problem å skille mellom CO₂ produsert fra trærne selv og CO₂ produsert av råtesoppene. Den enkleste metoden er å estimere CO₂ flukser fra friske og soppinfiserte trær og trekke fluksen i førstnevnte fra sistnevnte. Det er denne tilnærmingen som er

benyttet her. Vi har undersøkt om det er stor nok produksjon av CH₄, N₂O og CO₂ i trær infisert med råtesopp til at utslippene kan ha betydning for skogens klimaregnskap.

2 MATERIALE OG METODER

2.1 Lokalteter

Det ble hentet inn prøver fra trær i sju bestand på Østlandet. Ås-1, Ås-2, Hokksund, Haukeli 1, Haukeli 2, Jevnaker 1 og Jevnaker 2. Prøvetakingen startet våren 2013 i Ås og i juli i Hokksund og Haukeli, mens innsamlingene på Jevnaker ble gjort sommeren 2014. For å finne råtne trær, ble trær i bestandet boret med tilvekstbor i stubbehøyde. I Haukeli ble det i tillegg til grantrærne også tatt prøver fra tre ospetrær med kjerneråte forårsaket av hvitråtesoppen ospeildkjuke (*Phellinus tremulae*). I råtne trær ble det også tatt prøver rundt 1,6 m over bakken, og i enkelte også videre opp til over 3 m over bakken.

2.2 Prøvetrær og prøvetaking

Trestammene ble først boret med tilvekstbor til marg. Deretter ble hullene boret opp med ti millimeter bor og 10,5 millimeter grove og 100-150 mm lange stålrør ble banket inn i hullene. I enden av røret ble det satt på gummiseptum for uttak av gassprøver med 20 ml polypropylen sprøyte med treveisventil. I flere trær var gasstrykket inne i stammene lavere enn i atmosfæren. For å unngå kontaminering med luft utenfra stammen ble stempelet i sprøyten sluppet innover til trykket var jevnet ut, treveisventilen ble stengt og gassprøvene overført til forhåndsevakuerte gassprøveflasker. Gassvolumet i prøvene var vanligvis 10 ml, men lavere i tilfeller med delvis vakuum i trærne, volumet ble da notert.

2.3 Gass analyser

Prøvene ble analysert for O₂, CO₂, N₂O og CH₄ med bruk av gass kromatografi (GC Model 7890, Agilent, Santa Clara, CA, US), med Helium (He) som bæregass, og en 30 meter Poraplot Q (0,53 mm) kolonne med temperatur 38° C for separasjon av CO₂, N₂O og CH₄, og en 30 meter 5Å kapillær kolonne, med temperatur 25°C for separasjon av Ar, O₂ og N₂. Kolonnene var forbundet til en termisk konduktivitets detektor (TCD) for kvantifisering av CO₂, O₂ og N₂, flamme ioniserings detektor (FID) for CH₄ og elektronfangst detektor (ECD) for kvantifisering av N₂O. ECD ble kjørt med temperatur 375°C, med 17 ml min⁻¹ av Ar/metan (90/10% volum) som fyllgass. Gasskromatografen var utstyrt med automatisk prøvekjøring ved bruk av peristaltpumpe, (Gilson minipuls 3, Middleton, W1, USA) som gav ca 1,2 ml gass ved 1 atmosfæres trykk inn i to 250 µl prøvesløyfer, en for hver kolonne. Sertifiserte standard gassblandinger av CO₂, N₂O og CH₄ i Helium (AGA, Norge) ble brukt til kalibrering.

2.2 CH₄ og CO₂ produksjonspotensial i råtne vedprøver

Tre nr 6 i Ås, som hadde de høyeste konsentrasjonene av CH₄ og klare indikasjoner på infeksjon av både granrotkjuke og honningsopp, ble felt i november 2014. Ti centimeter tykke stammeskiver ble skåret av i stubbe- og brysthøyde slik at skivene omsluttet stålrørene som ble brukt til å ta ut gassprøver. Fra hver skive ble det skåret ut tre prøver i radial retning fra bark til marg. Disse ble igjen delt opp i ca 0,5x1x3 cm store biter fra frisk yteved, fra en type vannaktig ved nær yteveden, fra den så kalte reaksjonssonen som ofte blir dannet som treets forsvarsrespons mellom frisk yteved og soppinfisert kjerneved, og fra tydelig infisert kjerneved. Prøvene ble skåret ut med

båndslag og straks overført til sterile 120 ml prøve flasker. Det ble laget to parallelle prøver fra hver bit, en for inkubering under anoksiske og en for hypoksiske forhold. Prøveflaskene ble forseglet med butyl-gummi septa, påfylt 1 ml sterilt vann, og vasket med trykkutjevnet He-gass. For å skape hypoksiske inkubasjonsmiljø ble flaskene straks etter He-vaskingen tilført O₂ opp til 4 % volum/volum konsentrasjon. Alt i alt ble det laget 52 flasker innen 8 timer etter at treet ble felt. Flaskene ble inkubert i et klimaskap ved 20°C. Det ble tatt ut 1 ml gassprøver etter 40, 140, 300 og 550 timer fra inkubasjonen startet. Gassprøvene ble analysert som beskrevet i Molstad et al. (2007). Etter at inkubasjonen var ferdig ble prøvene veid og frysetørket for å bestemme tørrvekt. Produksjonsrater for CO₂ og CH₄ ble estimert ved å tilpasse et andregrads polynom til konsentrasjonen i flaskene som funksjon av tiden. Den deriverte av polynomet gir produksjonsraten ved et gitt tidspunkt. Ratene ble omregnet til mg CO₂ og µg CH₄ per kubikkmeter og sekund, forutsatt at gran har tørrdensitet lik 420 kg per kubikkmeter.

2.3 Oppskalering av CO₂ flukser fra råtne trær til bestandsnivå

Diffusjonen av gasser i ved går betydelig seinere enn i luft. Trærnes egen, eller soppens respirasjon, som konsumerer O₂ vil derfor føre til at konsentrasjonen av O₂ inne i stammene minker, mens konsentrasjonen av produktet, CO₂, øker. Diffusjonen av gasser i ved kan modelleres ved bruk av Fick's lov (Petty 1973):

$$\text{Eq. 1 } M_i = D_{12}A(C_{1i} - C_{2i}) / Z$$

M_i er mol av gass i som diffunderer fra rom 1 til rom 2, D₁₂ er diffusjonskoeffisienten for gass i, A er arealet som gassene går gjennom (i dette tilfellet det ytre arealet av stammeseksjonen), C_{1i} og C_{2i} er konsentrasjonen av gass nr i, i rom 1 og 2, mens Z er distansen mellom rom 1 og 2.

Diffusjonskoeffisienten har blitt bestemt for mange typer ved fra ulike treslag (Soriz og Hietz 2006). Men variasjonen fra prøve til prøve kan være svært stor, opp til ti tusen ganger. Dette skyldes at diffusjonen er mye seinere i vann enn i luft, at fuktigheten i veden varierer mye og at D er enda lavere i celleveggen enn i vann. I råtne ved vil D kanskje variere enda mer, fordi vedstrukturen blir delvis nedbrutt av råte. Å estimere gassflukser på grunnlag av målte konsentrasjoner i stammene og lufta utenfor med bruk av D verdier hentet fra litteraturen blir derfor svært usikkert. Her har vi valgt en annen tilnærming som bygger på at produksjonen av CO₂ konsumerer O₂. Hvis vi antar at det konsumeres ett mol O₂ for hvert mol CO₂ som dannes, det vil si at respirasjonskoeffesienten er 1, kan vi sette opp følgende likning:

$$\text{Eq. 2 } P_{\text{CO}_2} = -P_{\text{O}_2},$$

hvor P_{CO₂} er produksjonen av CO₂ i stammeveden fra tidspunkt t₁ til t₂ og -P_{O₂} er det tilhørende konsument av O₂. Produksjonen av CO₂ er summen av endringen i konsentrasjonen i stammen og antall mol av CO₂ som har diffundert ut av stammen og kan formuleres slik:

$$\text{Eq. 3. } P_{\text{CO}_2} = V\Delta C_{1i} + D_{12}At(C'_{1i} - C'_{2i})/Z,$$

hvor V er volumet av stammeseksjonen, $V\Delta C_{1i}$ er endringen i blandingsforholdet for gass i , (CO_2) fra tidspunkt t_1 til t_2 , t differansen mellom t_2 og t_1 , det vil si varigheten, og $C'_{1i} - C'_{2i}$ er det gjennomsnittlige blandingsforholdet til gass i fra t_1 til t_2 , i rom 1 og rom 2, mens D og A er som forklart ovenfor.

Men på grunn av ulik molekylvekt har O_2 og CO_2 ulik diffusjonshastighet. Hastigheten er relatert til massen etter Graham's lov:

$$\text{Eq. 4. } \delta_i = \left(\frac{m_i \cdot m_a}{m_i + m_a}\right)^{-1/2}$$

Her er δ_i den relative diffusjonshastigheten til gass i , m_i den molare massen til gass i , m_a er den molare massen til luften, eller gassblandingen inne i trestammen som m_i er en del av.

Når forutsetningen om at respirasjonskoeffisienten er lik 1 holder så kan likning 3 og 4 settes inn i likning 2 som deretter løses med hensyn på D_{12} som blir:

$$\text{Eq. 5. } D_{12} = (V\Delta C_{1i} + V\Delta C_{1j}) / \{\delta_j At(C'_{1j} + C'_{2j})/Z - \delta_i At(C'_{1i} + C'_{2i})/Z\}$$

Hvis gasskonsentrasjonene er oppgitt i mol per kubikkmeter og tiden i dager, blir benevnelsen for D_{12} : $\text{m}^2\text{-d}^{-1}$, som kan konverteres til $\text{cm}^2\text{ s}^{-1}$, som er standardbenevnelsen for diffusivitet.

For å kalkulere fluksen av CO_2 , O_2 eller CH_4 fra konsentrasjonene av disse gassene inne i stammen og i luften utenfor ved hvert måletidspunkt settes D_{12} inn i likning 1.

2.4 Oppskalering av CO_2 flukser fra nedbryting av kjerneved til bestandsnivå

For å undersøke hvorvidt CO_2 fluksen fra råtnende kjerneved er stor nok til å ha betydelig påvirkning på skogens karbonregnskap tok vi ut de trærne som hadde bare granrotkjukeråte fordi den er den vanligste råtesoppen og det er bare i denne at vi kjenner den vertikale soppspredningshastigheten. For å oppskalere fra trenivå til bestands- og regionalt nivå er det nødvendig å anslå differansen i CO_2 utslippet (E_c) mellom råtnende og friske trær. For å gjøre dette beregnet vi minste kvadraters gjennomsnittsverdier for fluksene i alle trær i perioden juli til november i 2013. Grunnlaget for dette er at målinger av CO_2 flukser i friske trær viser ganske god symmetri mellom vår og høst (Tarvainen et al. 2014), men se diskusjonen.

I trær som ikke har sår i barken på stammen vil rotkjuka oftest infisere i rota og vokse oppover i stammen. Råten vil derfor vanligvis være eldre nederst i stammen enn lenger oppe og soppens respirasjon vil sannsynligvis følge samme mønster. Plot av de gjennomsnittlige fluksverdiene E_c mot høyden hvor prøven var tatt tydet på at fluksen avtok eksponentielt med avstanden fra rota. Sammenhengen mellom E_c og målepunktets høyde over bakken skulle derfor kunne beskrives rimelig godt med en negativ eksponentialfunksjon:

$$\text{Eq. 6. } E_{ci} = \alpha \exp(-\beta H) + e_i,$$

hvor E_c er den årlige fluksen av CO_2 ved det i^{te} målepunktet, α og β er parametere som må beregnes og e_i er en rest som antas å være normalfordelt.

Etter å ha beregnet parameterne i modellen ble differansen i E_c mellom friske og råtne trær beregnet ved å finne den høyden (H_r) i råtne trær hvor E_c verdien var like stor som ved brysthøyde i friske trær:

$$\text{Eq. 7. } H_r = \log(E_{c\text{frisk}} / \alpha) / -\beta$$

For å finne netto utslippet fra råtesoppens nedbryting av veden ($E_{c\text{net}}$) ble deretter $E_{c\text{frisk}}$ verdien trukket fra den predikerte verdien fra likning 6.

Til slutt ble funksjonen snudd slik at $E_{c\text{net}}$ ble estimert som en eksponentialfunksjon av avstanden fra toppen av råtekolonnen L_i ,

$$\text{Eq 8. } E_{c\text{net}} = \alpha \exp(\beta L_i) + e_i,$$

hvor $E_{c\text{net}}$ er årlig nettofluks av CO_2 fra råtne trær, det vil si at middelveien for CO_2 fluksen fra friske trær er trukket fra, α og β er parametere, L_i er avstanden fra den høyden der CO_2 fluksen i råtne trær er lik CO_2 fluksen i 1,3 meters høyde i friske trær, og e_i er residualen

Fra feltet i Hokksund var det fem trær som var infisert bare med granrotkjuka, mens det i Ås viste seg å være bare et tre. Trærne fra Hokksund var ca 55 år, mens det ene treet i Ås var i overkant av 110 år målt i stubbeavskjær.

For å kalkulere fluksene fra ulike stammeseksjoner brukte vi Eide og Langsæters (1927) sin metode for å beskrive avsmalningen i trær ved bruk av Behre's stamme kurve. Derved kan diameteren (d_r) ved toppen av råtekolonnen finnes når brysthøydiameteren og H_r er kjent:

$$\text{Eq. 9. } d_r/D = L/(a+bL)$$

D er diameteren ved et hvilket som helst punkt på stammen, L er forholdet mellom avstanden fra toppen til H_r og fra toppen til d, a og b er koeffisienter. Koeffisienten b, ble beregnet ut høyde og diameterforholdet med data hentet fra Eide og Langsæter (1927). Hvis en forutsetter at avsmalningen er lineær vil ytearealet av en stammeseksjon være gitt ved:

$$\text{Eq. 10. } A_r = \pi (D_{13} + t_s H_r),$$

Hvor A_r er arealet, D_{13} er brysthøydediameteren, t_s er avsmalningen i meter per meter og H_r er som før råtekolonnens høyde fra bakken. For å finne CO_2 fluksen fra råten i hele stammeseksjonen må likning 8 multipliseres med likning 9 og deretter integreres. Dette gir:

$$\text{Eq. 11. } E_{\text{tots}} = \int [\alpha \pi \exp(\beta L) (\beta(D_{13} + t H_r) + t)] / \beta^2$$

Her er E_{tots} fluksen av CO_2 i stammesegmentet fra toppen av råtekolonnen og nedover mot rotavskjæret. Eller sagt på en annen måte; toppen av råtekolonnen er integralets nedre grense, mens rotavskjæret er den øvre.

Formelen i likning 11 gir merfluksen av CO_2 i mol eller kg per kvadratmeter barkoverflate i et råttent tre når råtenes høyde er kjent. For å skalere dette opp til bestandsnivå kreves det kjennskap til hvor mange trær som er råtne og hvor fort råten sprer seg i det enkelte tre. Landskogtakseringen sine rapporter fra fylkestakstene inneholder tabeller med prosentdel råteskadd volum fordelt på hogstklasse. Fordi prøvetrærne er plukket ut med relaskop, (faktor 6), bør volumandelen og andelen råtne trær av tretallet per hektar være ganske lik innen de ulike hogstklasser slik at vi kan forutsette at det er et 1:1 forhold mellom de to.

Råtens gjennomsnittlige alder i bestandet kan også anslås dersom en kjenner den årlige infeksjonsraten. Sistnevnte kan finnes enten ved å beregne råtefrekvensen som funksjon av bestandsalder eller ved å ta differansen i råtefrekvensen mellom to takster. For Hedmark fylke er det publisert råtefrekvenser for perioden 1995-99 og for 2000-04. Det aritmetiske middelet av infeksjonsratene i de ulike diameterklassene var 0,3 prosent per år. Denne verdien er brukt her. Den gjennomsnittlige alderen finnes ved å dividere prosent råtne trær i bestandet på den årlige infeksjonsraten. Den gjennomsnittlige råtehøyden er da gitt ved produktet av gjennomsnittlig alder og gjennomsnittlig vertikal årlig vekst av granrotkjuke i stammeved. Sistnevnte har blitt målt til å være 18.5 cm per år (Huse & Venn 1993). Her har vi redusert denne til 17.5 cm per år fordi Landskogtakseringens temporære flater i østlandsfylkene i gjennomsnitt ligger betydelig høyere og dermed har lavere temperatur som senker veksthastigheten, enn i Ås hvor trærne Huse og Venn studerte stod.

For å relatere CO₂ tapet på grunn av råte til tilveksten av stammeved, er tilveksten i kubikkmeter per hektar multiplisert med antatt veddensitet, 420 kg per kubikkmeter, som er multiplisert med gjennomsnittlig karboninnhold i bartreved 0,51, og til slutt multiplisert med 44/12 som er forholdet mellom molvekten av CO₂ og rent karbon. Dette gir bruttotilveksten av stammeved regnet om til CO₂ (GSP_{CO2}). Netto akkumuleringen av CO₂ i stammeved (NPP_{CO2}), det vil si tilveksten per hektar regnet som CO₂ fratrukket CO₂ utslipp fra råtnede stammeved blir da:

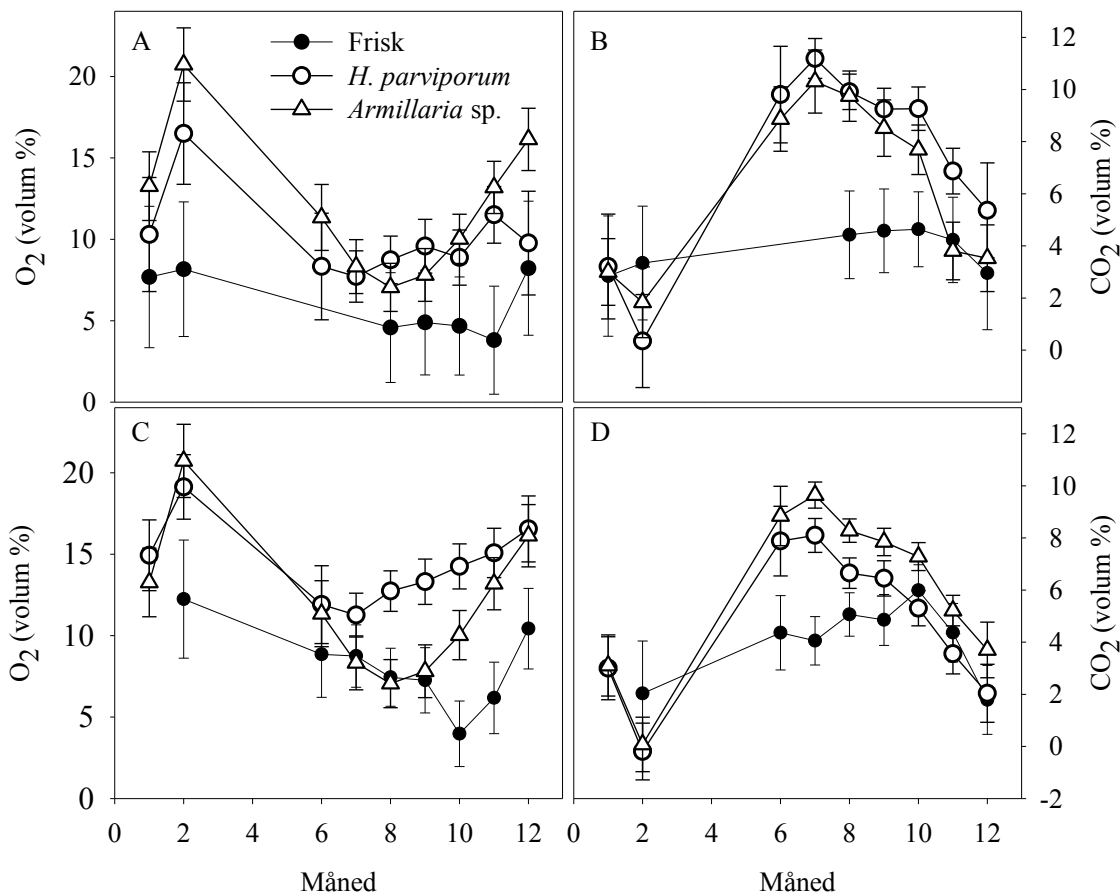
$$\text{Eq. 12. } \text{NPP}_{\text{CO}_2} = \text{GSP}_{\text{CO}_2} - \text{RP}/100 * \text{E}_{\text{tots}}$$

hvor RP er prosent av råteskadd volumet for hver hogstklasse og bonitetsklasse (lav, middels, høy) innen hvert fylke, hentet fra Landskogtakseringens rapporter fra fylkestakstene. Forholdstallet NPP_{CO2}/GSP_{CO2} ble brukt som felles mål på rotjukas påvirkning på karbonbalansen i de ulike fylkene, hogst- og bonitetsklassene. Tilveksten av stammeved ble hentet fra de stratumvise oversiktene for ulike hogst og bonitetsklasser i grandominert skog i fylkestakstene. Data for bonitetsklassene 6-8 ble slått sammen til bonitetsklasse lav, 11-14 til middels og 17-26 til høy, da denne inndelingen er benyttet i tabellene med råteskadd volum. Under sammenslåingen ble de ulike klassene vektet med tallet på prøveflater og prøvetrær i de ulike fylkene.

3 RESULTATER

3.1 Konsentrasjonen av O₂, CO₂ og CH₄ i stammer av råtne og friske trær

Både i råtne og friske trær var det en klar sesongvariasjon i konsentrasjonene av O₂, CO₂ og CH₄. O₂ konsentrasjonen var høyest om vinteren i januar, februar og falt utover våren, sommeren og tidlig høst til lave nivåer, for å øke sent på høsten (Fig. 1 A og C). Trær infisert med granrotkjuke eller honningsopp hadde generelt høyere O₂ konsentrasjoner i stubbehøyde og opp til ca 1,6 meters høyde, enn de friske kontrolltrærne. Forskjellene var signifikante (p<0.05) om sommeren og tidlig på høsten. CO₂ konsentrasjonen viste omvendt forløp i løpet av sesongen. De var lavest i januar og høyest om sommeren og tidlig på høsten (Fig. 1 B og D). Råtne trær hadde signifikant høyere CO₂ konsentrasjoner enn friske trær i juni og juli ved begge de laveste prøvehøydene. Konsentrasjonen av CH₄ varierte mye fra tre til tre. I mange trær var de på samme nivå, eller jamvel lavere enn i atmosfæren, mens en del trær hadde høye nivå i noen deler av stammen.



Figur 1. Konsentrasjonen av O₂ i friske trær og i trær infisert med granrotkjuke (*H. parviporum*.) eller honningsopp (*Armillaria sp.*) i prøver fra stubbenivå (nederst figur C), og rundt 1,6 meter over bakken (A). Tilsvarende verdier for CO₂ er vist i panel B og D. Prøvene er minste kvadraters gjennomsnitt, med standardfeil, for seks trær av granrotkjuke og fem av honningsopp fra Ås og Hokksund.

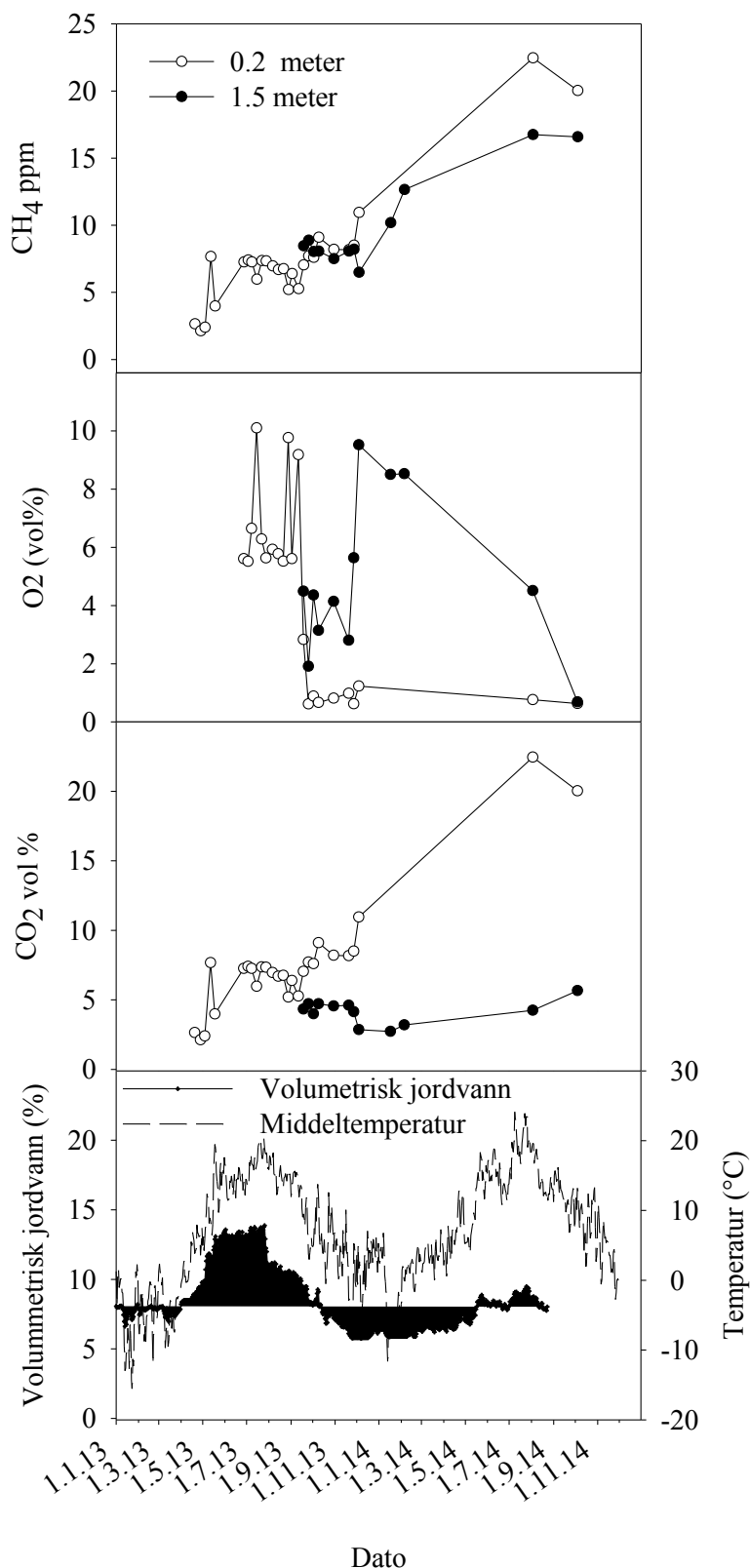
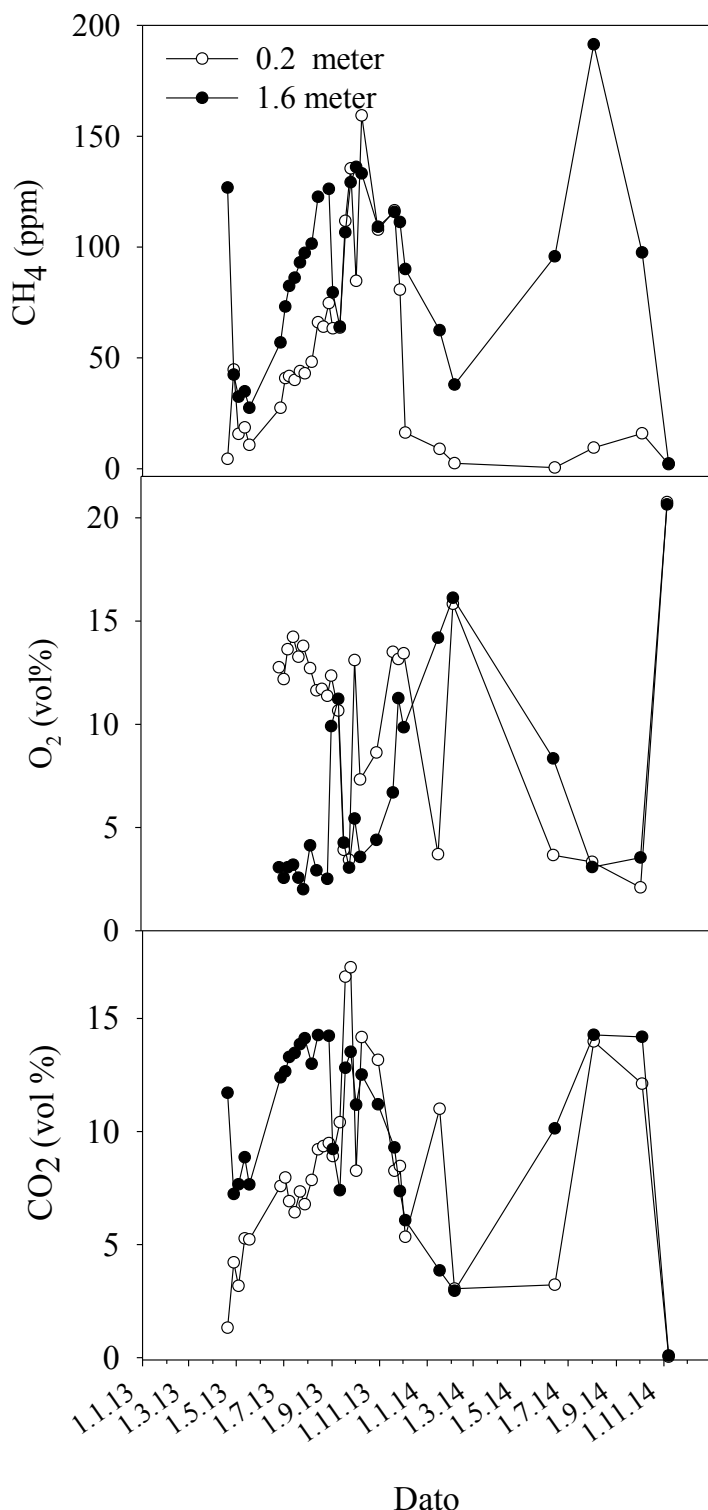


Fig. 2 viser alle målinger av konsentrasjonen av CH₄, O₂ og CO₂ i prøver fra stubbehøyde og 1,5 meter i tre nr. 2 i Ås.

I tillegg vises også målt volumetrisk jordfuktighet i 10 cm jorddybde og middel-temperaturen i Ås. På grunnlag av visuell vurdering av borprøvene tatt i 2013 ble dette treet klassifisert som friskt, men da det ble felt høsten 2014 viste det seg at det nylig var infisert med honningsopp. Det er verdt å merke seg hvordan CH₄ konsentrasjonen øker i begge høyder, fra målingene begynte i 2013 til de ble avsluttet i 2014. I stubbehøyde falt O₂ konsentrasjonen til svært lave nivåer utover ettersommeren og høsten 2013, med tilhørende ekstremt høye konsentrasjoner av CO₂. Samme utvikling så ut til å være i gang i målepunktet ved 1,5 meters høyde, men der kom den ikke like langt før treet ble felt.

Figur 2. Utvikling av konsentrasjonen av CH₄, O₂ og CO₂ over måletidsrommet i prøver fra 0,2 og 1,6 meters høyde i tre nummer 2 i Ås. Treet ble klassifisert som friskt, men viste seg etter felling å ha en begynnende honningsoppråte. Nederste figur viser volumetrisk jordvann i 10 cm jorddybde og temperatur hentet fra NIBIO sin Landbruksmeteorologiske stasjon i Ås.



Alle konsentrasjonsmålinger av de samme gassene fra tre nr. 6 i Ås er vist i Fig. 3. Dette treet var infisert både med granrotkjuke og honningsopp. Utover sommeren 2013 ble det målt meget høye konsentrasjoner av metan, over 160 ppm, i prøvene fra stubbehøyde, men senere på høsten falt konsentrasjonen til et mye lavere nivå og holdt seg der også i 2014. I prøvene fra 1,6 meters høyde økte konsentrasjonen fra 2013 til 2014, men gikk ned til lave nivå i november. I dette treet var O₂ konsentrasjonen høyere i stubbehøyde enn i 1,6 meters høyde, mens det var motsatt for CO₂. I de fleste råtne trær, både av gran og osp var CH₄ konsentrasjonen på atmosfærisk nivå som er ca 2 ppm. Motsatt så observerte vi at enkelte tilsynelatende friske trær kunne ha forhøyet metan konsentrasjon, høyeste målte verdi var 17 ppm. Etter at trærne ble felt fant vi at to av trærne var infisert med granstokkjuke (*Phellinus chrysoloma*). I disse trærne var CH₄ konsentrasjonene på nivå med hva vi fant i friske trær og i trær infisert med granrotkjuke.

Figur 3. Utvikling av konsentrasjonen av CH₄, O₂ og CO₂ over måletidsrommet i prøver fra 0,2 og 1,6 meters høyde i tre nummer 6 i Ås. Dette treet som var infisert med honningsopp (*Armillaria sp.*) hadde de høyest målte metanverdiene av alle prøvetrær.

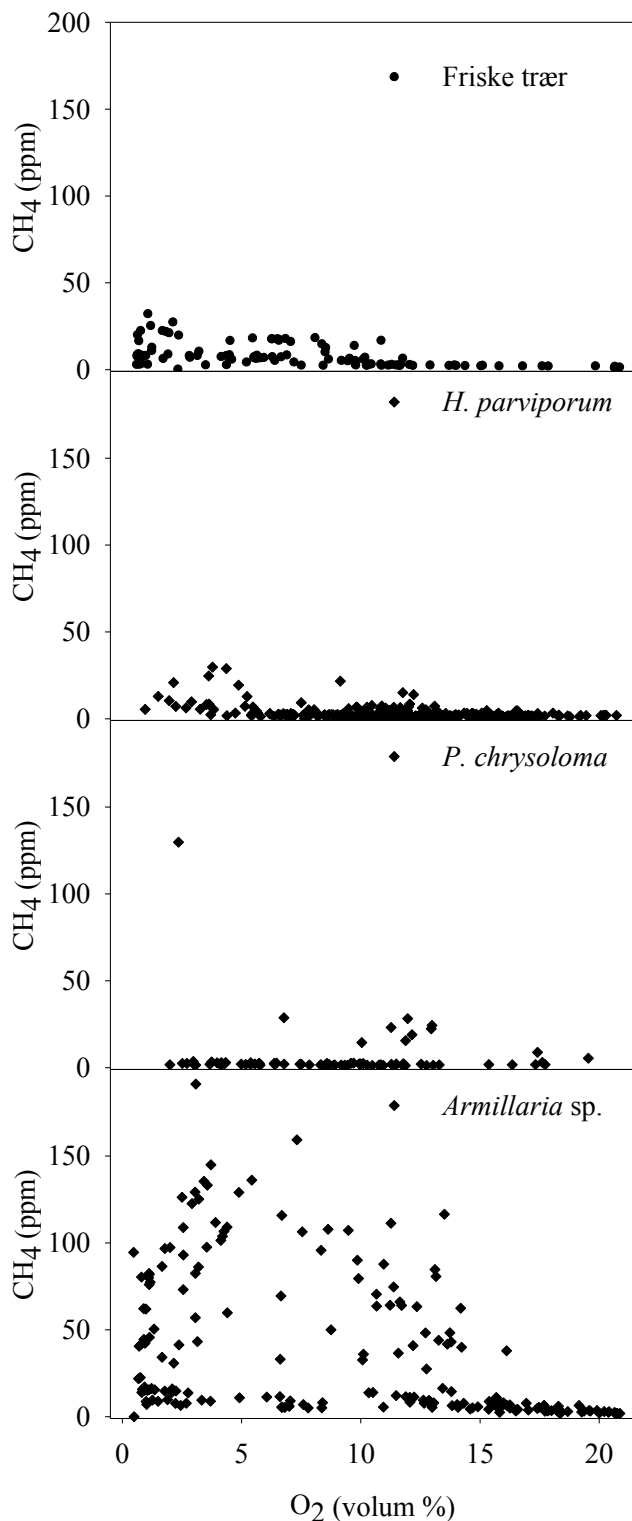
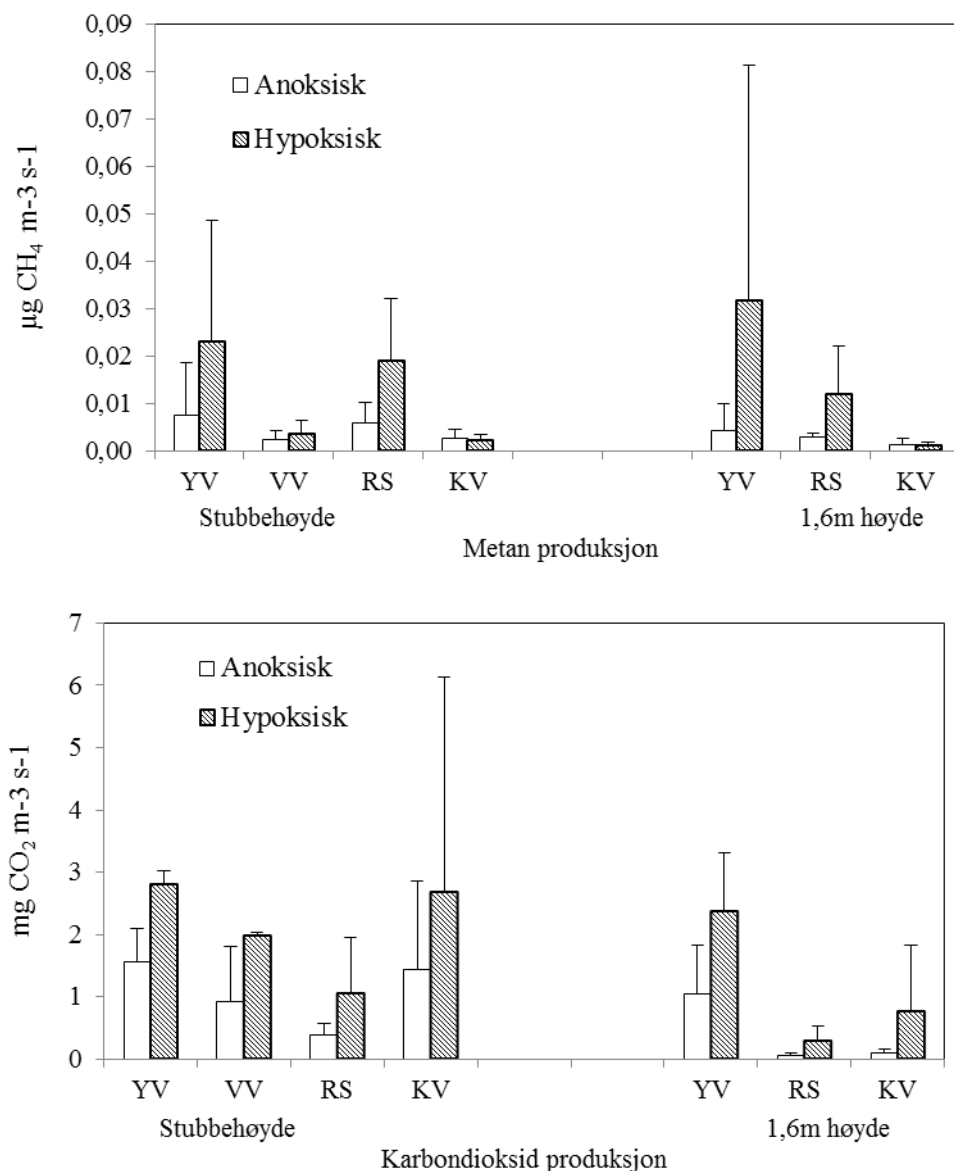


Fig. 4 viser konsentrasjonen av CH₄ i forhold til O₂ i friske trær, trær infisert med granrotkjuke, granstokkjuke og honningsopp. Det var spesielt i trær infisert med honningsopp at vi fant høye nivå av CH₄ og da helst under hypoksiske forhold, mens konsentrasjonen så ut til å gå ned der O₂ nivået var enda lavere.

Figur 4. Forholdet mellom konsentrasjonene av CH₄ og O₂ i friske trær og i trær infisert med granrotkjuke (*H. parviporum*), granstokkjuke (*P. chrysoloma*), og honningsopp (*Armillaria* sp.). Data er fra målinger i totalt 35 trær.

3.2 Produksjonspotensialet for CO₂ og CH₄ i ulike vev fra treet med høyest CH₄ produksjon

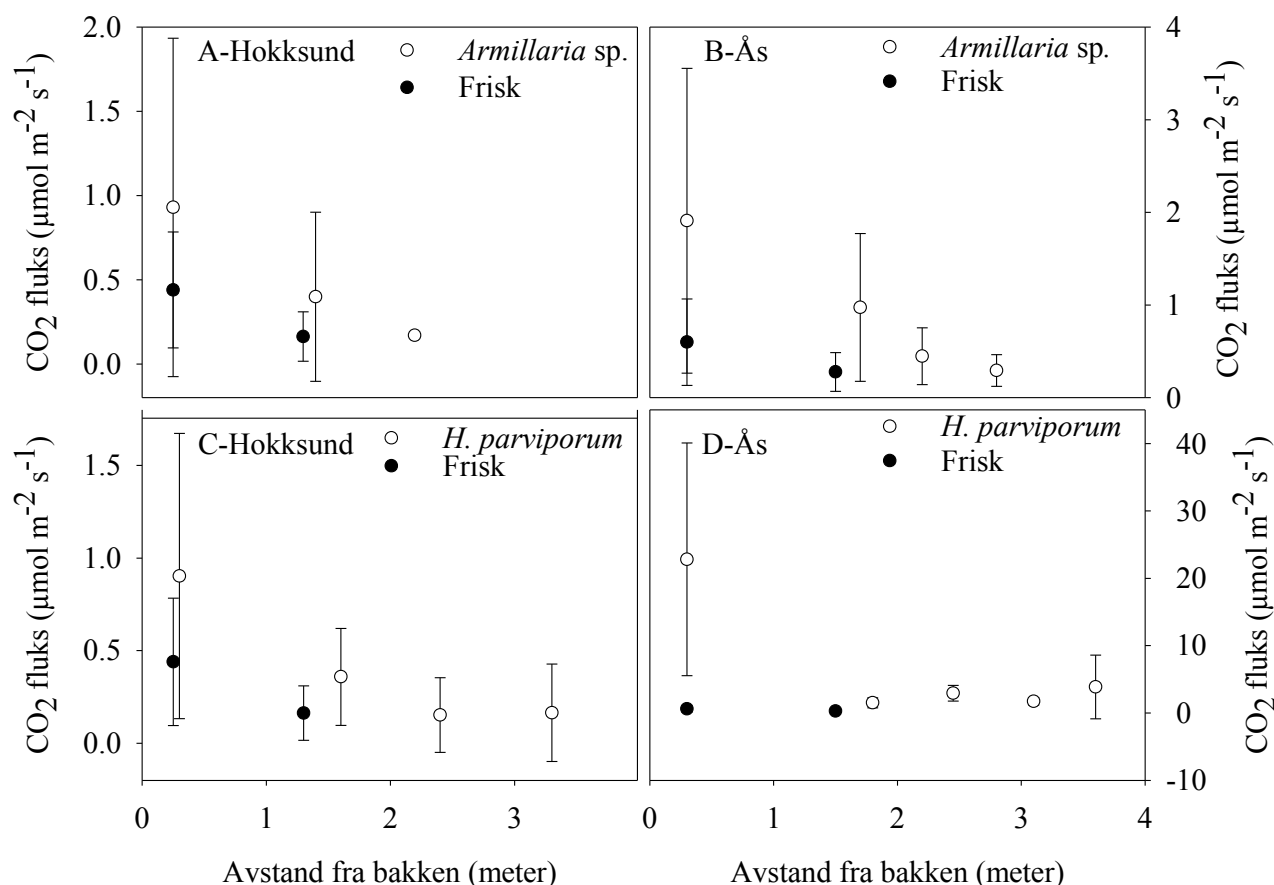
I alle vevstyper, yteved, reaksjonssone, kjerneved og vannaktig ved var produksjonsraten for CO₂ høyere under fire prosent O₂ enn under helt anoksiske forhold (Fig. 5). Ved fire prosent O₂ var det størst CO₂ produksjon i prøver fra kjerneveden og yteveden. All CO₂ dannelse i den døde kjerneveden må komme fra mikrobiell nedbryting av veden, mens det i yteveden også kan finnes noe levende planteceller. Om CO₂ produksjonen under 4 prosent O₂, regnes om til kg per år, forutsatt at produksjonen holder samme nivå hver dag hele året, utgjør den ca 90 kg per år, som tilsvarer ca 11 prosent av karbonet bundet i en kubikkmeter stammeved.



Figur 5. Gjennomsnittlig produksjon av CO₂ og CH₄ i vedprøver, dissekert fra stubbehøyde og ca. 1,6 m over bakkenivå fra tre #6, i 23 dagers laboratorieinkubasjon under anoksiske eller hypoksiske forhold. YV – frisk yteved; VV – vannaktig yteved; RS - reaksjonssone; KV – kjerneved kolonisert av sopp. Søylene viser standardavvik.

Til sammenlikning hadde tre nr. 6, mens det stod i skogen, i gjennomsnittet 1,2 mg per kubikkmeter og sekund i prøvene fra stubbehøyde, som omregnet til årsbasis gir et utslipp på 38 kg per kubikkmeter. Det tilsvarer ca 43 prosent av produksjonsnivået i yte- og kjerneveden målt i laboratoriet. Produksjonspotensialet for CO₂ var betydelig lavere i prøvene tatt omkring 1,6 meters høyde (Fig. 6). Den gjennomsnittlige fluksen fra denne høyden da treet stod i skogen var 0,48 mg per kubikkmeter og sekund, eller ca 15 kg på årsbasis, tilsvarende ca 70 prosent av produksjonspotensialet målt i laboratoriet.

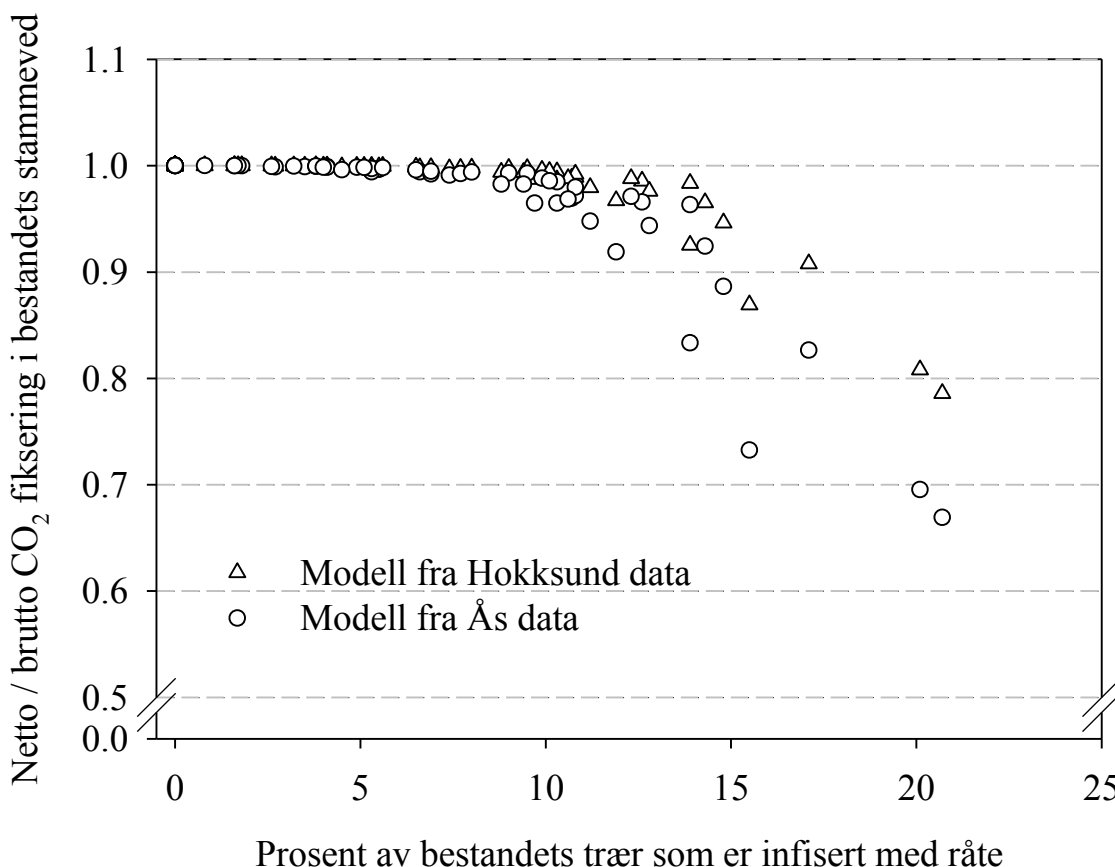
Produksjonen av CH₄ var signifikant høyere i yteveden og i reaksjonssonen enn i kjerneveden og vannaktig ved. I yteveden og reaksjonssonen var produksjonen høyere under 4 prosent O₂ enn under helt anoksiske inkubasjons forhold. Men gjennomsnittsverdien av CH₄ fluksen målt i stubbehøyde da treet stod i skogen var 0,47 µgram per kubikkmeter og sekund, ca 23 ganger høyere enn de høyeste verdiene målt under laboratorieinkubasjonen. I brysthøyde var gjennomsnittsfuksen målt i skogen ca ti ganger høyere enn i prøvene fra yteveden som produserte mest i laboratoriet.



Figur 6. Forholdet mellom CO₂ flukser og prøvehøyde over bakken i friske grantrær og trær infisert med honningsopp (*Armillaria sp.*), eller granrotkjuke (*H. parviporum*). Datapunktene er minste kvadraters middel for månedene juli til og med november 2013

3.3 Oppskalering av CO₂ flukser fra råtnende kjerneved til bestands og regionnivå

I trær som var infisert med granrotkjuke var de beregnede CO₂ fluksene betydelig høyere enn i friske kontrolltrær og fluksen avtok fra rota og oppover stammen (Fig. 6C-D). Det samme gjaldt for honningsopp (Fig. 7A-B). Den beregnede CO₂ fluksen fra selve råten, NPP_{CO₂}, var lav i bestand/fylker med lav forekomst av råte slik at forholdet mellom brutto og nettofiksering i stammeveden, NG_r, var nesten 1 til 1 (Fig. 7). Men når mer enn ti prosent av trærne hadde råte begynte NG_r å falle raskt. Ved tyve prosent råteskadd volum i bestandet var NG_r redusert til 0,7-0,8, hvilket betyr at 20 til 30 prosent av CO₂ fikseringen i stammeveden på bestandsnivå gikk tilbake til atmosfæren på grunn av rotkjukas nedbryting av veden. I Fig. 7er der bare tatt med prøveflater der den beregnede råtehoeien er mindre enn seks meter som er innenfor der anslått råtehoeide i tre nr. 6 fra Ås. Men i Fylkestaksten fra Telemark fylke på middels bonitet i hogstklasse III hadde 28 prosent av volumet/trærne råte. Den tilhørende beregnede råtehoeide var 7,3 meter. I dette tilfellet, som ikke er tatt med i Fig. 7, ville NG_r være -2.5 som indikerer at CO₂ tapet på bestandsnivå er to og en halv gang større enn CO₂ fikseringen i stammeveden.



Figur 7. Beregnet forhold mellom netto og brutto CO₂ fiksering i stammeved som funksjon av råteskadd volum/tretalls prosent. Se materiale og metoder for beregning av CO₂ flukser fra råtnende stammer. Det er forutsatt at alle råtnende trær er infisert med granrotkjuke (*H. parviporum*).

4 DISKUSJON

Respirasjonen fra treets levende celler og diffusjonsmotstanden i ved, floem og bark gjør at CO₂ konsentrasjonen i stammen stiger til nivåer som er hundre til to hundre ganger høyere enn i atmosfæren (Eklund 1990, Teskey et al. 2008). De konsentrasjonene vi har målt i friske kontrolltrær her samsvarer bra med hva som tidligere er målt i gran (Eklund 1990) og i andre arter (Teskey et al. 2008). I trær som var infisert med sopper, enten det var granrotkjuke, honningsopp, eller granstokkjuke, var CO₂ konsentrasjonen gjennomgående to til tre ganger høyere enn i kontrolltrærne i sommerhalvåret. Differansen må for en stor del skyldes soppenes nedbryting av veden, men vi kan heller ikke se bort fra at trærne øker sin egen respirasjon som en del av forsvaret mot soppen. Reaksjonszonen dannes som en del av dette forsvaret og den har kanskje større diffusjonsmotstand enn annen ved fordi den er rik på polyfenoler (Oliva et al. 2012). Den kraftige stigningen i CO₂ i tre n. 2 i Ås, som bare hadde litt råte helt nederst i stubben kan tyde på det. Med bruk av isotopanalyse kan det være mulig å skille mellom CO₂ produsert fra treets egen og soppenes metabolisme. De målte O₂ nivåene i friske kontrolltrær samsvarer også bra med Eklund (1990). I soppinfiserte trær var derimot O₂ nivåene høyere enn i kontrolltrærne. Forklaringen på dette er sannsynligvis at diffusjonsmotstanden avtar etter hvert som veden brytes ned og blir mer porøs. Selv om sopper som granrotkjuka kan vokse ved lave O₂ nivå (Jensen 1967), vokser de bedre ved god tilgang på O₂. Oksygentilførselen til soppen blir derved bedre når råten er mer fremskreden enn i starten på infeksjonen. Dette kan igjen øke råte hastigheten.

Råtesopper påvirker skogens karbonopptak og -lager på flere måter. Først vil soppangrepet føre til en forsvarsrespons i treet som har en energikostnad og dermed reduserer treets nettotilvekst. Etter hvert vil økende mengder CO₂ fra soppens nedbryting av veden slippes ut i atmosfæren. Råten vil også kunne drepe treet ved at vanntransporten blir sterkt redusert, eller ved at treet blir mer utsatt for å knekke eller rotvelte. På bestandsnivå vil dette kunne medføre økt avgang også av friske trær fordi gjenstående trær blir mer utsatt for vindslit og tørkestress. Råte bidrar derved til både å slippe ut igjen fiksert karbon, og til å redusere karbonfikseringen i det enkelte tre og i bestandet som helhet. Når det gjelder råtenes samlede klimapåvirkning må en i tillegg ta med eventuelle utslipp av CH₄ og N₂O.

Vår nyutviklede metode for å estimere gassflukser ut av stammene, på grunnlag av målinger av gasskonsentrasjonen i veden, ga fluksestimer fra friske trær som var ca tretti prosent lavere enn målinger der trærne ble påsatt kuvetter (Tarvainen et al. 2014). Vi anser likevel dette som rimelig godt samsvar tatt i betraktning den store variasjonen det ser ut til å være i fluksene fra dag til dag (Tarvainen et al. 2014). De estimerte fluksene samsvarte også rimelig godt med produksjonspotensialet for CO₂ som ble målt i råtnende vev fra tre nr. 6 fra Ås.

Gjennomsnittsverdiene for de diffusjonskoeffisientene i radial retning som vi estimerte er også innenfor hva som har blitt målt i laboratorieforsøk (Sorz & Hietz 2006). Deres laboratorieforsøk viste også at diffusjonsmotstanden er sterkt avhengig av fuktigheten i veden. Etersommeren 2013 var svært tørr, noe som sikkert påvirker diffusjonsmotstanden og kanskje også soppenes metabolisme. Estimaten av CO₂ fluksene kan derfor være sterkt påvirket av dette årets klima. Vårt utvalg av trær er også svært lavt. Resultatene fra oppskalering av fluksene til bestandsnivå skal derfor ikke tas som et endelig estimat på CO₂ utslipp fra råtnende skog i østlandsfylkene, men som en demonstrasjon av at utslippspotensialet kan være stort. Det vesentlige her er at CO₂ fluksen er

så mye høyre nederst i stammen der råtten er eldst og at det ser ut til å være en eksponentiell økning i utslippene med råtens alder. Da mye av karbonet i treet er lagret i stammens nederste del og i stubben vil en eksponentiell nedbryting av dette lageret etter hvert frigjøre så store mengder CO₂ at det tilsvarer en vesentlig del av den totale karbonfikseringen. Resultatene som er presentert i Fig. 7 viser at den estimerte nedgangen i nettofikseringen av CO₂ i stammeveden var om lag lik for modellen basert på de fem granrotkjukeinfiserte trærne fra Hokksund og det ene treet fra Ås, selv om sistnevnte var mye eldre og trolig hadde eldre og mer utviklet råde. Om disse to modellene er i nærheten av å gi et riktig bilde av CO₂ utslippene fra råtnende trær er det klart at i eldre skog med mye og tiltakende råde må nettofikseringen og nettolageret være betydelig lavere enn om det forutsettes at skogen er rådefri. Den eksponentielle utviklingen av nedbrytingen tilsier også at når mer enn femten-tjue prosent av trærne er råtne vil CO₂ tapet bli betydelig. Men denne oppskaleringen hviler på flere forutsetninger som bør testes bedre. Antagelsen om at respirasjonskoeffisienten er konstant lik en i både friske og råtne trær er neppe helt holdbar og krever uavhengig testing. Forutsetningen om at rotkjukas vertikale veksthastigheten er ca 18 cm per år er hentet fra ett forsøk i ett år (Huse & Venn 1993). I dette forsøket var den maksimale spredningshastigheten nesten ti ganger høyere enn den minste. Fordi CO₂ utslippet ser ut til å øke eksponentielt vil selv små endringer i den vertikale spredningsraten ha ganske mye å si for beregningen. En presis kvantifisering av karbontapet fra råde krever derfor sikrere data med større geografisk bredde for soppens vertikale spredning. Her har vi bare anslått CO₂ tapet gjennom barken. En betydelig mengde CO₂ vil sannsynligvis følge transpirasjonsstrømmen og gå ut gjennom baret fordi fluksen av CO₂ fra blader har vist seg å være proporsjonal med deltrykket av CO₂ i vannet i stammen (Teskey & McGuire 2005).

CH₄ konsentrasjonene og de estimerte fluksene var generelt svært lave. I det honningsoppinfiserte treet som hadde høyest CH₄ konsentrasjoner i stammen var fluksene under 0,2 prosent av CO₂ fluksen. Når de fleste råtne trærne hadde mye lavere flukser, tyder våre målinger på at CH₄ utslippene har lite å si for skogens totale klimaregnskap, selv om CH₄ er en mye sterkere klimagass enn CO₂. Dessuten så det ut til at CH₄ bare ble dannet i visse deler av stammen, se for eksempel Fig. 2 og 3. Laboratorieinkuberingen viset også at produksjonspotensialet varierte mellom ulike vedtyper. Samtidig viste disse at produksjonspotensialet målt i laboratoriet var mye lavere enn fluksene målt i felt. Dette kan tyde på at de CH₄ produserende prosessene/organismene er følsomme for endringer i miljøet i samband med prøvetakingen. I såfall kan også vår metode med å bore inn stålrør i stammene gi feilaktige resultater fordi miljøet inne i stammen endres. Men våre fluksestimater fra de friske trærne i feltmålingen er like høye eller dobbelt så høye som målinger på gran i Sverige ved bruk av påsatte kuvetter (Reinelt 2013). Dette tyder på at vi kan konkludere med at CH₄ utslipp fra råtnende grantrær på fastmark på Østlandet ikke medfører et betydelig strålingspådriv.

Våre sparsomme målinger i osp viste også svært lave CH₄ nivåer, dette i kontrast til målinger i løvtreved i Russland og nordøstre USA (Mukhin & Voronin 2008, Covey et al. 2012). Dette tyder på at det må være flere ulike synteseveier for CH₄ i ved, slik flere studier tidligere har indikert (Keppler et al. 2006, Nisbet et al. 2009) og at de veiene som har størst produksjonspotensial ikke er tilstede eller er lite operative i de trærne vi har undersøkt. Vi har også målt N₂O som er en meget sterk drivhusgass, men konsentrasjonene av denne i trestammene var gjennomgående svært lave og likeså de beregnede fluksene. Resultatene er derfor ikke presentert.

Dette er å betrakte som en pilotundersøkelse der vi har undersøkt et mindre antall trær fra i alt sju forskjellige bestand på Østlandet. Selv om materialet er relativt lite og metodikken som er benyttet må verifiseres med uavhengige målinger, gir undersøkelsen grunnlag for noen konklusjoner. For det første ser det ikke ut til at infeksjon med granrotkjuke, honningsopp, eller granstøkkjuka i gran medfører metanutslipp som er så store at de påvirker skogens klimaregnskap. Det samme ser ut til å gjelde for den enda kraftigere drivhusgassen N_2O .

Derimot tyder våre resultater på at CO_2 utslippene fra råtenedbrytingen øker eksponentielt med råtens alder og at utslippene etter hvert blir betydelige. I granskog med mye råde må både karbonlager og årlig nettobinding være betydelig lavere enn om en forutsetter at skogen er helt frisk. Den eksponentielle utviklingen av råde tilsier at disse forholdene bør undersøkes mer nøye både på grunn av effekten på karbonbalansen, men også fordi det økonomiske tapet øker fort med råtens alder.

TAKK

Skog ble velvilligst stilt til disposisjon av Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås, Per Aker, Hokksund, Harald Kvaalen, Haukeli, Per Olimb, Jevnaker og Johann Ingvald Klute, Jevnaker. De to sistnevnte skogeiere fikk vi kontakt med ved hjelp av Jan Jansen, Landbrukskontoret på Hadeland. Barbara Rzepka og Katarzyna Wasak hjalp til med prøveinnsamling. Gassmålinger ble utført av Trygve Fredriksen og Monika Fongen. Prosjektet ble finansiert av Utviklingsfondet, Skogtiltaksfondet (etter søknad fra Norges Skogeierforbund) og NIBIO (Skog og landskap).

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.

