

Karbonfangst og -lagring i dyrkajord på Innlandet

Trond Maukon Henriksen¹, Hugh Riley¹ & Audun Korsæth²

¹NIBIO Korn og frøvekster, ²NIBIO Mat og samfunn

trond.henriksen@nibio.no

Innledning

Karbonfangst og -lagring er motebegrep som enda ikke har særlig praktisk relevans i industrien, men hvor pilotprosjekt antagelig snart settes i gang. Spørsmålet reiser seg om det er mulig å fange karbon på en billigere måte i bondens «bedrift», dvs. åkeren og jorda den vokser på. På Apelsvoll har vi i lang tid hatt muligheten for å undersøke nettopp dette, og i denne artikkelen legger vi frem noen nøkkeltall for «bedriften». Helt konkret så tar vi for oss dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll og vi beregner hvor stor fangst av karbon en kan forvente i normale norske dyrkingssystem på Innlandet. Vi antyder hvor stor andel av dette karbonet som normalt tilføres jorda og sier litt om stabiliteten av det på «lageret». Resultatene stammer hovedsakelig fra perioden 2000–2019.

Fangst av karbon

Proessen vi bruker for vår karbonfangst er fotosyntesen, og sola er energikilden. Den totale fangsten av karbon kalles brutto primærproduksjon (BPP), men så bruker plantene omtrent halvparten av karbonet til egen respirasjon. Det vi sitter igjen med er netto primærproduksjon (NPP). Det er netto primærproduksjon som gir energi til livsfunksjoner og karbon til oppbygging av organisk stoff hos heterotrofe organismer. Sistnevnte omfatter bl.a. oss sjøl, husdyra og jordorganismene.

Vi dyrker jorda for matproduksjon, og en del av netto primærproduksjon tas derfor ut av kretsløpet på jordet i form av avling til menneskemat eller fôr til husdyr. Halm har en økonomisk verdi og kan tas ut til biobrensel, til strø eller fôr, eller det brennes på jordet av bekvemmelighetshensyn. Resten tilbakeføres til jorda der det kan tjene som karbon- og energikilde for jordbiomet og gi ei «levende jord».

BPP – planterespirasjon = NPP

NPP – uttak av plante-C = Rest-C

Lagring og tap av karbon

Jorda er en ekstremt stor, men usikker lagringsplass for karbon. Det finnes mange beskrivelser av dette lageret, og mange har forsøkt å finne ulike inndelinger av karbonet som gir mening/har praktisk betydning. Vi kan for eksempel tenke oss jord-karbonet i tre fraksjoner: 1) jordorganismene som kan ha en aktiv metabolisme (Aktiv-C) – som vokser og bidrar til ei fruktbar jord (mineralisering av nitrogen og aggregering/strukturutvikling), nedbryting av strukturelt materiale og produksjon av enklere forbindelser som inngår i mineralassosiert karbon. Og så er det 2) partikulært organisk materiale (Partikulært-C), som er rester av planter og døde organismer som ikke er helt nedbrutt, men i varierende grad beskyttet mot nedbryting. For eksempel hvis det er innsluttet i leir eller aggregat som stabiliseres av mikrobiell aktivitet (polysakkarid-utskilling) eller sopphyfer. Og så er det 3) det mest stabile karbonet (Stabilt C); det som er bundet til overflaten på leirpartikler eller bundet til jern- og aluminiumoksider, og som nok har vært en runde eller to gjennom mikroorganismene før det havnet her. Det meste av tilført karbon blir likevel ikke lagret, men forsvinner via respirasjon som CO₂.

Rest-C blir til

Aktivt-C + Partikulært-C + Stabilt-C + CO₂

Jo større tilførselen av karbon er, jo mer havner i hver av disse tre fraksjonene, og så lenge det tilførte materialet enda er nokså reaktivt og stimulerer mikrobiell aktivitet, vil det ha en ekstra effekt ved å bidra til sin egen fysiske beskyttelse. Omvendt så vil lite input av karbon føre til lavere aktivitet, dårligere beskyttelse og redusert mengde lagret karbon. I dag tror vi at ethvert nivå av karbon-tilførsel (mengde og kvalitet) på sikt vil gi en helt konkret størrelse på karbonlageret – et likevektsnivå, der tilført C = tapt C (respirasjon, lekkasje og erosjon). En endring i mengde og kvalitet av tilført C vil da gi en tilsvarende endring av lagret C, helt til det oppstår et nytt like-

vekstsnivå. Det kan ta over 100 år å nå et nytt likevekstsnivå etter en endring.

Fra våre norske forhold vet vi at jordas lager av karbon er høyere i eng-system enn i kornsystem. I denne artikkelen tester vi hypotesen om at dette skyldes større tilførsel av karbon i engsystem enn i kornbaserte system.

Materialer og metoder

Dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll

Dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll ble etablert i 1989, som et feltlysimeter der en opprinnelig ønsket å se på hvordan ulike dyrkingssystem påvirker avrenning av næringsstoff fra dyrka jord. Det består av to gjentak av seks ulikt drevne gårder à 1,8 daa med fire skifter. Som «kontroll-ledd» finnes et referansebruk (REF). Sistnevnte er designet slik som en drev åpen-åker-produksjon på Østlandet på -80-tallet; tre år med korn etterfølges av et år med potet. All gjødsel gis om våren, halmen fjernes og det høstpløyes. På et mer moderne kornbruk (OPT0) med samme vekstskifte deles gjødslinga i to, halmen kuttes og beholdes på jordet, det brukes raigras fangvekst som sprøytes og pløyes om våren. På et økologisk kornbruk (ØKO25) med tre år korn såes det inn ei kløvereng tredje året for å «regenerere» jorda og gi nitrogen. Kløverenga som dermed utgjør det fjerde året i vekstskiftet slås til mulch. Fra 2011 er mesteparten av avlingene (to slåtter) blitt fjernet og biorest tilført i håp om å øke nitrogener effektiviteten. Forsøket innbefatter dessuten tre allsidige husdyrgårder, hvorav én er konvensjonell (OPT50), med to kornår og to engår. En nesten lik, økologisk gård (ØKO50) er også inkludert, men uten bruk av mineralgjødsel og sprøytemidler. For å utvide spennet fra korn til gras er det

i tillegg med en økologisk husdyrgård (ØKO75), med tre år eng og ett år korn. En skjematisk beskrivelse av viktige karakteristika er gitt i tabell 1.

Apelsvoll ligger på morenejord av kambrosilurisk opphav rett sør for Gjøvik, og representerer norske jordbruksareal på tilsvarende grunn mht. vekstpotensial og avlinger. I denne artikkelen ser vi på netto primærproduksjon og mengde tilført karbon i de seks dyrkingssystemene med økende mengde eng.

Jordprøvetaking 2020

Våren 2020 ble det tatt ut jordprøver på alle gårdene i dyrkingssystemforsøket, blant annet i 0–25 cm dyp og innholdet av organisk karbon i jorda (SOC) er beregnet fra glødetapet etter en lokalt tilpasset formel:

$$\text{SOC\%} = \text{glødetap\%} * 0,4665 - \text{Leirinnhold (\%)} * 0,0257 - 0,356.$$

Beregning av karbontilførsel

Ved beregning av tilført mengde karbon fra 2000 til 2019 har vi tatt utgangspunkt i målte avlinger samt tilført mengde såfrø/settepotet og gylle/biorest i hvert system. For å beregne karbon i planterester, røtter og roteksudater har vi brukt forholdstall mellom de ulike fraksjoner. Disse forholdstallene har vi tatt fra arbeidet til Bolinder *m. fl.* (2007) som hentet data fra Canadiske forsøk. Vi har tatt utgangspunkt i at det er 45 % karbon i plantematerialet. Det gjøres ikke noe forskjell på topp/rot/eksudat-forhold avhengig av jordfuktighet, næringsforsyning eller driftsform. Bolinder jobber for tiden med å fremkaffe data for å lage formler bedre tilpasset skandinaviske forhold.

Tabell 1. Oversikt over behandling på de seks dyrkingssystemene

System	Fork.	Vekstskifte	Halm	Gjødsel	Fangvekst	Jordarbeiding
Referansebruk	REF	Hvete-havre-bygg-potet	Fjernes	Mineralgj.	Nei	Høstpløying
Konv. kornbruk	OPT0	Hvete-havre-bygg-potet	Beholdes	Mineralgj.	Ja	2xharving
Økol. kornbruk	ØKO25	Hvete-havre-bygg-kløvereng	Beholdes	Biorest	Ja	Vårpløying
Konv. allsidig h.dyr	OPT50	Hvete-bygg-eng1-eng2	Fjernes i gjenl. året	Min.gj.+gylle	Ja	Vårpløying
Økol. Allsidig h.dyr	ØKO50	Hvete-bygg-eng1-eng2	Fjernes i gjenl. året	Gylle	Ja	Vårpløying
Økol. husdyrbruk	ØKO75	Bygg-eng1-eng2-eng3	Fjernes i gjenl. året	Gylle	Nei	Vårpløying

Resultater og diskusjon

Netto primærproduksjon

Beregnet netto primærproduksjon på Apelsvoll er vist i tabell 2. Gjennomsnittet lå på 553 kg C/daa/år med et spenn fra 450 kg C/daa/år på ØKO25 til 630 kg C/daa/år på OPT50. Med de formlene vi brukte var det overraskende lite forskjell på eng- og åkersystem, men ser vi på sammenliknbare system, så var det f.eks. høyere NPP i OPT50 enn i OPT0 og REF. Ser vi på de økologiske systemene, så økte NPP med antall engår i vekstskiftet. I korndominerte system (REF og OPT0) var 79 % av beregnet NPP i overjordisk plantemasse, mens vi beregnet at 68 % av NPP var i overjordisk biomasse i engsystemene (OPT50, ØKO50 og ØKO75). Resultatene er vist i tabell 2. Vi tror at NPP slik det er beregnet her er relativt representativt for karbonfangst på jordbruksareal på det sentrale Østlandet. I en rykende fersk artikkel (8. desember 2020; Jacobs *m.fl.* 2020) beregnet forfatterne karbon-input i ulike agronomiske system i Sentral-Europa. De fant en NPP på 690 kg C/daa/år på åkerjord og 590 kg C/daa/år på engareal, mens vi

altså fant gjennomsnitt på hhv. 542 og 565 kg C/daa/år under våre kjøligere betingelser. Det ser ut til å være sammenheng mellom NPP og gjødslingsintensiteten. De tre konvensjonelle brukene har høyest NPP, det økologiske kornbruket har lavest.

Årlig tilførsel av karbon til jord

Vi har også beregnet hvor mye karbon som årlig tilføres jord i de ulike dyrkingssystemene. Resultatene er vist i tabell 3.

Beregnet årlig tilførsel av karbon til jord på Apelsvoll var 304 kg C/daa. Det var ikke særlig store forskjeller mellom systemene. Selv om engsystem har noe større NPP enn åkersystem, så tar vi ut en større andel av NPP som avling (52 mot 44 %). Dette kompenseres omtrent med karbon tilført i gylle. Til sammenlikning fant Jacobs *m.fl.* (2020) en karbontilførsel til jord på 370 kg C/daa/år i Sentral-Europa, uavhengig av om det var åker eller eng, og i en svensk studie fant Andrén *m.fl.* (2008) en variasjon i tilført karbon på 260 til 330 kg C/daa/år fra nord til sør i Sverige.

Tabell 2. Beregnet årlig netto primærproduksjon (kg C/daa) i dyrkingssystemene på Apelsvoll 2000–2019 fordelt på avling (målt), overjordiske planterester, røtter og roteksudater

System	C i avling	C i overjordiske planterester	C i røtter	C i roteksudater	SUM NPP
REF	262	210	75	49	596
OPT0	253	204	73	48	579
ØKO25	120	167	98	64	450
OPT50	315	115	92	108	630
ØKO50	254	89	74	89	507
ØKO75	318	57	62	119	557
Snitt	254	140	79	80	553
(% av tot.)	(46)	(25)	(14)	(14)	

Tabell 3. Beregnet årlig tilførsel av karbon (kg C/daa) til jord i dyrkingssystemene på Apelsvoll 2000–2019 fordelt på overjordiske planterester, underjordisk tilførsel, gylle og såfrø

System	C i overjordiske planterester	C i underjordisk tilførsel	C i gylle	C i såfrø	SUM tilførsel
REF	59	124	0	13	195
OPT0	204	121	0	13	339
ØKO25	167	163	7	7	343
OPT50	115	201	45	5	365
ØKO50	89	163	35	5	292
ØKO75	57	182	46	2	288
Snitt	115	159	22	7	304
(% av tot.)	(38)	(52)	(7)	(2)	

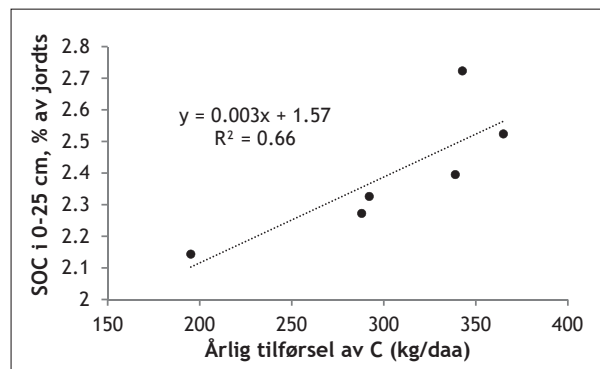
Det store, ustabile lageret

På dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll var lageret av karbon ca. 10 tonn C/daa (0–45 cm) når forsøket startet i 1990, noe som altså tilsvarer 30 års C-tilførsel med dagens rater, men som selvsagt er resultatet av 9000 års jordsmonnutvikling, hvor akkumuleringen av karbon trolig var stor i starten, og hvor endringene deretter har vært små. Det er ingen grunn til å forvente at totalinnholdet kan stige noe vesentlig utover dette nivået i et godt drenert jordbrukssystem på morenejord her på Østlandet. Tvert imot har det vært en stor nedgang de siste tre år. Vi ser at lagerbeholdningen avhenger av hvilket dyrkingssystem vi bruker, og det er dette som har betydning i klimasammenheng. For en bestemt tilført mengde og kvalitet av organisk materiale, samt valg av driftsteknikk, vil det innstille seg en likevekt på lageret. Omvendt, skal en beholde denne lagerstørrelsen, så må en fortsette med det samme dyrkingssystemet. En kan generelt ikke nettolagre karbon i et dyrkingssystem i likevekt. En må heller endre systemet. Ekstra innsats, for eksempel bruk av fangvekst eller biorest/slam eller endring i vekstskifte må også fortsette uendelig dersom en skal beholde en gitt ny lagerstørrelse. Kostnader ved ekstra innsats må derfor sees i et langt perspektiv. Et unntak er tilførsel av tilnærmet inert materiale som biokull. Et slikt tiltak vil være umiddelbart og nokså varig, og kostnadene kan enkelt beregnes og avskrives.

På dyrkingssystemforsøket ser vi en sammenheng mellom tilført mengde karbon og SOC i pløyesjiktet (figur 1). Dette er nok likevel et resultat som må modifiseres noe. Om en ser på endring i det totale karbonlageret fra starten av forsøket til i dag så har det vært mindre nedgang i engsystemene enn i åker-systemene. De resultatene skal vi vise neste år. Her nøyer vi oss med å nevne at det er ikke bare mengden av tilført karbon som har betydning, men også kvaliteten av karbonet. I engsystem utgjør underjordisk karbon (i røtter og eksudater) en større andel av tilførselen enn i kornsystem. Tilførselen av karbon med gylle (våt-kompostert storfé) er selvfølgelig også i hovedsak knyttet til engsystemene. Det er svært sannsynlig at karbon tilført gjennom røtter og eksudater og/eller gylle gir økt lagring sammenliknet med overjordisk planterester. Dette er jo vist flere ganger (f.eks. Rasse *m.fl.* 2005, Kätterer *m.fl.* 2011), og vi ser i vårt forsøk at selv betydelige mengder overjordisk plantemateriale (mulch i ØKO25) ikke har klart å demme opp for nedgang i SOC (resultater ikke vist).

På Apelsvoll ser det ut til at en årlig tilførsel på om lag 400 kg C/daa av «engsystem-kvalitet» er nødvendig for å opprettholde lagerstørrelsen slik den var i 1990 (resultater ikke vist). Dette er antagelig umulig å oppnå i et moderne kornsystem, med stor eksport av karbon og liten tilbakeføring i form av husdyrgjødsel/biorest/slam. En må derfor forvente at en slik reduksjon av lageret som vi ser, med tilhørende utslipp av CO₂, vil fortsette inntil ny likevekt er oppnådd. Deretter vil det imidlertid ikke være ytterligere netto CO₂-utslipp fra jord ved kornproduksjon.

Det er mulig å drive kornproduksjon på mange måter, med ulik lagerstørrelse av karbon som resultat. På dyrkingssystemforsøket skiller referansesystemet seg spesielt ut, med lite tilførsel av karbon, og lavest mengde organisk karbon i jorda. Det skyldes nok først og fremst at halmen har blitt fjernet i hele perioden og at det ikke brukes fangvekster. Systemet drives helt på kanten av det som kan sies å være bærekraftig, om vi ser på nedgangen i jordas strukturabilitet. Avlingene er fremdeles svært gode, men jorda har blitt tettere og mer klumpet og den har svært lav aggregatstabilitet. Det skal vi komme tilbake til i en artikkel neste år.



Figur 1. Sammenheng mellom tilført mengde karbon og SOC (0–25 cm) målt på gårdene i 2020.

I Norge er det generelt mer karbon i jord med gras enn i jord med korn. Vi fant ikke bevis på hypotesen vår om at dette skyldes større potensielt karboninput når vi brukte formlene til Bolinder, men i praksis kan fjerning/brenning av halm gjennom flere tiår ha bidratt til lav karbontilførsel på kornarealene. Typen av tilført karbon er nokså forskjellig, med mer rotmasse og roteksudat på grasmark. I praksis må en også ta med at det eksporteres betydelige mengder karbon fra kornarealene til husdyrdistriktene med fôrkorn og halm uten tilsvarende tilbakeføring. Det er også sannsynlig at klimaforhold har betydning for forskjellen. Gjennomsnittlig jordtemperatur er anta-

gelig lavere der det dyrkes eng enn der det dyrkes korn. Fuktigheten er ofte større, og dreneringsgraden lavere. Slike faktorer taler for større lagring av karbon. På den annen side er antagelig NPP også lavere på disse arealene.

Konklusjoner

Vi har beregnet netto primærproduksjon (NPP) i alminnelige agronomiske dyrkingssystem på Innlandet. Ifølge våre beregninger var gjennomsnittlig NPP 553 kg C/daa/år, med en viss variasjon som ser ut til å samsvare med gjødslingsintensiteten og avlingsnivået i systemene. Tilførsel av karbon til jord var 304 kg C/daa/år, hvor et referansesystem skilte seg klart ut med svært lav tilførsel fordi halmen fjernes hvert år. Det var liten forskjell i karbontilførselen mellom eng- og kornsystem, men stor forskjell i hvilke plantedeler karbonet ble tilført gjennom. I kornsystem er mesteparten av tilført karbon å finne i overjordiske planterester. I engsystem er mesteparten av tilførselen knyttet til røtter og eksudater. I dette forsøket var det en sammenheng mellom beregnet karbontilførsel og karbonlageret (0–25 cm). Dette er målbart i et 20–30 års perspektiv.

Referanser

- Andrén, O., Kätterer, T., Karlsson, T. & Eriksson, J. 2008. Soil C balances in Swedish agricultural soils 1990–2004 with preliminary projections. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81: 129–144.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A. & VandenBygart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 29–42.
- Jacobs, A., Poeplau, C., Weiser, C., Fahrion-Nitchke, A. & Don, A. 2020. Exports and inputs of organic carbon on agricultural soils in Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 118: 249–271.
- Kätterer, T., Bolinder, M., Andrén, O. & Kirchmann, H. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than aboveground crop residue, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 141: 184–192.
- Rasse, D.P., Rumpel, C. & Dignac, M.F. 2005. Is soil carbon most root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil* 269: 341–356.