

Markens kolinlagring efter brand och avverkning

Björn Lindahl, Michael Gundale, Cajsa Lithell

Kolinlagring i mark spelar en nyckelroll för att minska climateffekter av människans koldioxidutsläpp. Boreal skogs- mark innehåller stora mängder kol, men störningar som skogsbränder och kalhuggning leder till förlust av kol från marken.

Här sammanfattas de biologiska mekanismer som påverkar återuppbyggnaden av kolförrådet i marken efter omfattande störningar.

Kolinlagringen i marken är snabbast 15–80 år efter en störning och avtar sedan. Att kol binds snabbare i yngre skogar beror på hög växtproduktion och symbiotiskt mykorrhizamycel som hämmar nedbrytarsvampar.

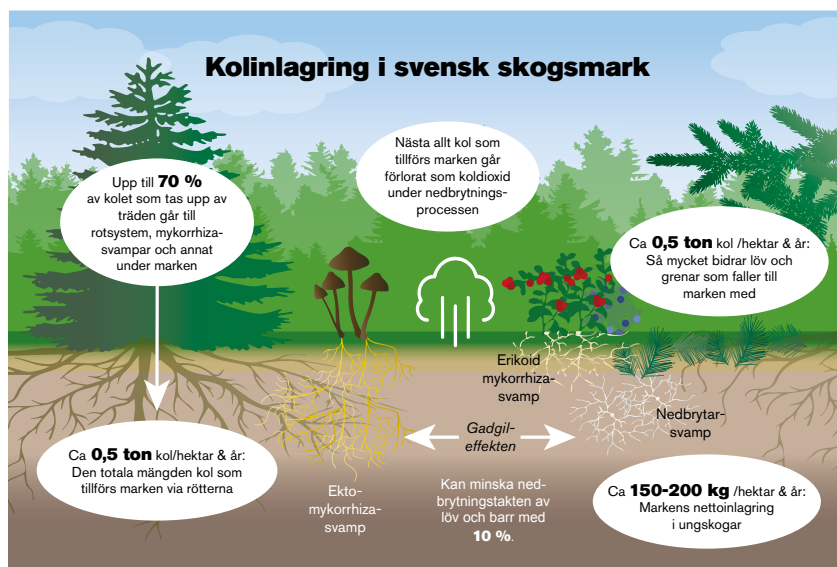
Vi behöver öka vår förståelse för ekosystemets kolbalans om vi vill skapa bra modeller av kolets kretslopp och ge bättre råd till beslutsfattare om hur markanvändningen påverkar kolbalansen i skog och mark.



Markens roll i skogens kolcykel

Den boreala skogen lagrar mellan 20–40 % av allt kol på land och spelar en viktig roll i den globala kolcykeln. Ungefär fyra femtedelar av detta kol, som från början kommer från träd och andra växter, återfinns i marken. Markens funktion som kolsänka beror på balansen mellan tillförsel av kol från växter och kolförluster i samband med biologisk nedbrytning, avverkning och skogsbränder. För att marken ska vara en kolsänka måste kolförrådet hela tiden växa, d.v.s. tillförseln av döda växtdelar (förna) och svampmycel måste vara snabbare än nedbrytningshastigheten. Om nedbrytningen är snabbare än tillförseln kommer kolförrådet istället att minska och marken blir en källa till kolutsläpp.

Växter tillför organiskt material till marken i form av fallförna, rotförna och avverkningsrester, men även genom att transportera kol till mykorrhizasvampar. Dessa svampar lever i symbios med träden, och deras mycelnätverk bidrar till att bygga upp markens kolförråd. Kolförrådets tillväxt eller minskning beror på balansen mellan å ena sidan växternas tillförsel av förna och uppbyggnad av svampmycel i marken, och å andra sidan mikroorganismers nedbrytning av det organiska materialet. Vissa växter växer snabbt och trivs i näringsrika miljöer medan andra växter långsamt och investerar i försvar mot skadegörare. De långsamtväxande har mer motståndskraftig förna och robusta svampmycel. De producerar alltså organiskt material som bryts ned långsamt och därför lagras längre tid i marken. På hyggen och i unga skogsbestånd, där tillgången på näring är hög, dominerar ofta snabbväxande vegetation, såsom örter och gräs. När skogen blir äldre och näringstillgången minskar tar risdominerad vegetation över. Det innebär att i tidiga skeden av skogens utveckling bryts organiskt material ner snabbare, medan det i äldre skogar ackumuleras mer långlivat organiskt material i marken. För en översikt av kolinlagring i svensk skogsmark, se figur 1.



Figur 1. Merparten av det kol som tas upp i boreal skog allokeras till underjorden. Siffrorna i figuren är ungefärliga och beror bland annat på skogens ålder. Läs om Gadgil-effekten i faktabrutten.

Skogsbränder

Kolbalansen påverkas av störningar, som till exempel skogsbränder. Varje år brinner ungefär 1 % av de boreala skogarna, vilket leder till stora kolutsläpp. På grund av klimatförändringar har skogsbränder blivit både vanligare och mer intensiva. På kort sikt går skogarna från att vara kolsänkor till att släppa ut mer kol än de lagrar in.

En brand medför förluster av organiskt material som helt enkelt brinner upp. Hur stor del av markens kolförråd som går förlorat beror på brandens intensitet. När skogen och livet i marken kommer tillbaka byggs kolförrådet upp igen, men det kan ta årtionden eller till och med århundraden. Efter en skogsbrand lagras kol in i marken med en nettohastighet på 150 kg per hektar och år under de första 80–100 åren (medianvärde baserat på 245 studier). Därefter saktar inlagringen ner. En studie visar att 5000 år efter en skogsbrand har marken en betydligt lägre inlagringstakt (50 ton kol per hektar och år).

Skogsbruk och kalhuggning

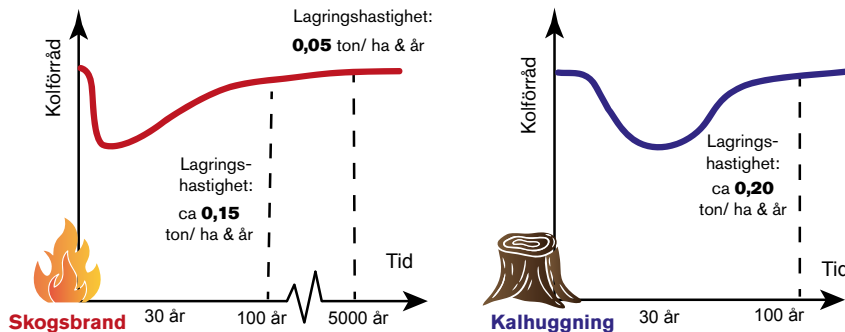
Skogsbruk har också en stor påverkan på boreala skogar, och kalhyggesbruk med återplantering är den dominerande formen av skogsbruk i Sverige. Idag vet vi inte exakt hur kalhugg-

ning påverkar markens kolbalans, men på en tidsrymd av 25–30 år går en del av markens kol förlorat (i genomsnitt ca. 30 % av markens organiska lager), dels på grund av minskad tillförsel av förna men troligen också som en följd av snabbare nedbrytning. På längre sikt, upp till 100 år, byggs kolförrådet i marken upp i en takt som liknar återhämtningen efter en brand, med en nettoinlagring på 200 ton per hektar (medianvärde baserat på 15 studier). Se figur 2 för en översikt av hur kolförrådet återhämtar sig efter skogsbrand och kalhuggning. För att få en tydligare bild av hur boreala skogar lagrar in kol behöver vi förstå hur växter, svampar och andra mikroorganismer påverkar kolbalansen när skogen återhämtar sig från en störning.

Vad händer i underjorden?

I barrskogar kan den totala inlagringen av kol i hela ekosystemet genom fotosyntesen i träd vara så hög som 3 ton per hektar och år. En stor del av kolet i skogen återfinns under markytan – upp till 70 % av det kol som växter tar upp från atmosfären går till rotsystem och mykorrhizasvampar, men det mesta av detta kol bryts ned av svampar och andra mikroorganismer och återförs till atmosfären. Därför är markens nettoinlagring av

Återhämtning efter skogsbrand och kalhuggning



Figur 2. Återhämtningen från en störning ser olika ut efter skogsbrand och kalhuggning. Bränder kan skapa stabila kolstrukturer som bryts ner långsamt. Vid kalhuggning uppstår kolförluster och snabb nedbrytning, men inom en tidsram på 100 år byggs kolförrådet upp med liknande hastighet.

kol mycket lägre (150–200 kg kol per hektar och år i ungsogar). Växter skickar kol från fotosyntesen genom sina rötter till symbiotiska mykorrhizasvampar som hjälper träden att ta upp vatten och näringsämnen. Mycket av det kol som hamnar i marken används till att upprätthålla finrötter och mykorrhizasvampar, medan en mindre del används till att bygga upp grövre rötter. Rötterna har en relativt kort livslängd – de tunnaste rötterna byts ut ungefär varje år. Därför behövs en kontinuerlig tillförsel av kol för att upprätthålla rotbiomassan. Samtidigt släpper rötterna ut ämnen (så kallade exudat) som kan bidra till att lagra kol i marken men också stimulera nedbrytning av organiskt material.

Rotproduktionen ökar generellt i skogar upp till ungefär 100 års ålder, parallellt med att träden växer sig

större. Därefter minskar ofta produktionen, men marken i äldre skogar kan ändå fungera som kolsänkor genom att nedbrytningen går långsammare och kolförrådet därigenom fortsätter byggas upp trots lägre tillförsel.

Den snabba inlagringen av markkol i unga skogar beror inte bara på ökad växtproduktion utan också på att mykorrhizasvampar producerar stora mängder myceltrådar, så kallade hyfer. Hyferna bidrar till att bygga upp organiskt material och hämmar samtidigt frilevande, nedbrytande mikroorganismer (Gadgil-effekten; se faktarutan). När skogen åldras förändras balansen – växtproduktionen och svampars myceltillväxt minskar, växtmaterialet blir svårare att bryta ner, och vissa ektomykorrhizasvampar får en större direkt roll som nedbrytare av organiskt material. Mykorrhizas-

vampar kan alltså vara avgörande för hur mycket kol marken binder, då de både tillför kol till marken, men också kan delta aktivt i nedbrytningen. Underjordiska processer kan därför påverka hur snabbt markens kolförråd återhämtar sig efter en skogsbrand eller avverkning och i vilken utsträckning äldre skogar bibehåller sin funktion som kolsänka.

De viktiga mykorrhizasvamparna

Mykorrhizasvampar bygger nätverk av hyfer i marken, och när hyferna dör påverkar deras kvalitet hur länge kolet stannar kvar i marken. Svampar med vattenavvisande hyfer och mycket av det mörka pigmentet melanin bryts ner långsammare och bidrar mer till kolinlagring. Därför kan vissa svampar, som den vanligt förekommande, melaninrika arten *Cenococcum geophilum* (jordgryn), bidra oproportionerligt mycket till kolinlagring i marken.

Skogsbränder och avverkning förändrar svampsamhället. Snabbväxande svampar tar över först, men på lite längre sikt gynnas svampar som binder mer kol i marken. När skogen blir riktigt gammal tar erikoida mykorrhizasvampar, som samarbetar med ljungväxter, över. De binder effektivt kväve och har mörka, motståndskraftiga hyfer, vilket kan bromsa nedbrytning och därmed öka kolförrådet i marken trots att koltillförseln över lag saktar ned. Vissa ektomykorrhizasvampar kan bryta ner svårnedbrytbara ämnen, som till exempel lignin,

Gadgil-effekten och konkurrensen om kväve

Ektomykorrhizasvampar tar effektivt upp näring genom att konkurrera om utrymmet i marken och frigöra kväve från organiskt material. Detta leder till att mindre kväve blir tillgängligt för andra organismer, som till exempel nedbrytarsvampar. Denna konkurrens om näring kan bromsa nedbrytningen av organiskt material. Till exempel har närvaro av mykorrhizasvampar visat sig minska nedbrytningstakten av löv- och barr med ungefär 10 %, men effekterna kan eventuellt vara större längre ned i marken. När mykorrhizasvamparna försvinner efter avverkning eller intensiva bränder bryts deras hämmande effekt på frilevande nedbrytarsvampar, som snabbt tar över och bryter ner döda rötter och svamptrådar. Nedbrytningen kan därmed accelerera, vilket leder till kolförluster i marken efter störning – den så kallade "Gadgil-effekten".

tannin och melanin. Dessa svampar är särskilt vanliga i äldre skogar, men minskar efter avverkning, vilket kan påverka kolets kretslopp i marken under många decennier. Ett exempel på en sådan svampgrupp är släktet *Cortinarius* (spindlingar) som ofta dominerar i äldre, kvävefattiga skogar (Figur 3). Genom sin förmåga att frigöra hårt bundna näringsämnen från organiskt material gynnar de trädens tillväxt och därmed kolinlagring ovan mark. Samtidigt kan de indirekt påverka markens kolförråd genom att påskynda omsättningen av organiskt material, vilket kan leda till att markens kolförråd krymper.

Mer data ger bättre modeller

Trots att vissa faktorer som påverkar skogens kolinlagring är relativt välkända, till exempel hur växt- och förnaproduktionen förändras över tid och hur växtmaterialets sammansättning påverkar nedbrytningen, saknas



Figur 3. Mykorrhizasvampar i symbios, här ektomykorrhiza av släktet *Cortinarius*, omsluter trädets finrötter och all näring som passerar från jorden till trädet går igenom svampen. Foto: Erica Packard.

fortfarande viktig kunskap om vad som reglerar markens kolförluster efter avverkning och hur snabbt kolförrådet återuppbyggs i växande ungskogsbestånd. Det finns till

exempel väldigt lite forskning om hur rottillväxt, mykorrhizas funktionella egenskaper och samspelet mellan olika svampgrupper påverkar kolbalansen i skogen. Det saknas även data över hur andra typer av skador, som till exempel från insekter, påverkar kolinlagringen. En bättre förståelse av dessa frågor skulle förbättra modeller över kolets kretslopp i boreala skogar och vägleda beslut om markanvändning.

Ämnesord kolinlagring, skogsbrand, kalhuggning, kolcykeln, mykorrhiza, borealskog

>> Läs mer

MJ Gundale m.fl. 2024. The biological controls of soil carbon accumulation following wildfire and harvest in boreal forests: A review. *Global Change Biology* 30, e17276.

Författare



Björn Lindahl
Professor,
Inst. för mark och miljö,
Uppsala, SLU
bjorn.lindahl@slu.se



Michael Gundale
Professor,
Inst. för skogens ekologi
och skötsel, Umeå, SLU
michael.gundale@slu.se



Cajsa Lithell
Frilansande kommunikatör
cajsa.lithell@gmail.com

Fakta skog

ISSN: 1400-7789. eISSN: 3035-8426
Produktion: SLU, Fakulteten för skogsvetenskap 2025
Ansvarig utgivare: goran.ericsson@slu.se.
Redaktör: yva.melin@slu.se.
Layout: grafiskservice@slu.se.
Illustratör: Fredrik Saarkoppel, Kobolt Media AB.
DOI: <https://doi.org/10.54612/a.4hiho3nm14>

