"This We Know. All Things Are Connected."

Chief Seattle (ca 1786 - 1866)

DET SVENSKA

SKOGSBRUKETS KLIMATPÅVERKAN

Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid

INNEHÅLL

Förord 3

Sammanfattning 4

Inledning 6
- Kol och klimat 6
- Sveriges utsläpp av koldioxid i ett internationellt perspektiv 6
- Kolets kretslopp – en komplicerad väv i tid och rum 7
- Kolcykeln 8

Kolförråd i nordisk skogsmark och skog 9
- Träd binder kol 9
- Nedbrytning och förbränning frigör kol bundet i biomassa 9
- Kolförråd i svensk produktiv skog 10
- Skogsmarken som kolsänka 10
- Årlig nettoinbindning av kol i Sveriges skogar 11
- En jämförelse av kolförråd i orörd respektive brukad skog 12
- Skogsbrukssystem, skogsskötselstrategier och koldioxidbalans 13

Energianvändningen i skogsbruket 15
- Skogsbrukets emissioner av koldioxid 15
- Åtgärder för minskat behov av fossila drivmedel i skogsbruket 17

De skogsindustriella produkterna i ett klimatperspektiv 18
- Substitution 19
- Kan vi öka klimatnyttan av den svenska skogen och dess produkter? 19

Referenser 20

skogforsk

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
Tel: 018-18 85 00
skogforsk.se

Redaktör: Rolf Björheden, Skogforsk – Layout: Inger Petré, Skogforsk
Foton: Rolf Björheden, Skogforsk om inget annat anges – Tryck: Gävle Offset 2019

ISBN: 978-91-88277-08-04

FÖRORD

År 1896 publicerades artikeln *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*. Författaren, den svenske kemisten Svante Arrhenius, hävdade att en ökad halt av koldioxid i atmosfären på sikt skulle medföra en allmän, global uppvärmning och ett ändrat klimat. Han menade att atmosfärens halt av koldioxid var en bidragande orsak till jordens perioder av nedisning och värmeperioder. Hans teori möttes med stark skepsis.

De senaste decennierna har hans banbrytande artikel om koldioxidens växthuseffekt fått starkt stöd. Mänsklig aktivitet har, i en omfattning som Arrhenius knappast kunde förutse, bidragit till att atmosfären tillförts stora mängder koldioxid. Halten av koldioxid i atmosfären har ökat från knappt 0,03 procent, då han gjorde sin forskning, till 0,04 procent idag.

Jordens klimat bestäms av samspelande processer. Sammanhangen är ännu inte helt kända, men avancerade modeller av det globala klimatet ger starkt stöd för teorin att s.k. växthusgaser bidrar till global uppvärmning. Detta antagande stärks av observerade klimatdata. Koldioxidhalten i atmosfären är idag allmänt accepterad som en drivande klimatfaktor, genom växthuseffekten.

Frågan om klimatet blir därför i hög grad en fråga om att hantera och styra kolflödena. Det är i detta sammanhang som sättet att sköta skogen får en mycket framträdande roll, för skogsträden tar upp koldioxid ur atmosfären och lagrar kol genom sin tillväxt. Produkter baserade på skogsbiomassa lagrar också kol och kan minska användningen av kol från fossila källor. I Sverige hanterar skogsbruket genom sin verksamhet de absolut största flödena av kol. Detta är bakgrunden till detta försök att sammanfatta ett stort och komplicerat ämne: DET SVENSKA SKOGSBRUKETS KLIMATPÅVERKAN.

Det är min förhoppning att läsaren skall hämta både kunskap och inspiration ur denna skrift!

Uppsala, januari 2019
Rolf Björheden, Skogforsk

SAMMANFATTNING

FOTO: ERIK VIKLUND/SKOGFORSK

Att minska utsläppen av koldioxid är ett viktigt mål för klimatpolitiken. För Sverige är skogssektorn det ojämförligt viktigaste redskapet i detta arbete och skogens möjlighet att bidra är direkt tillgänglig. För största effekt av skogsbruket i klimatarbetet skall virkesproduktionen vara så hög som möjligt, med hänsyn till andra mål. Så stor del av varu- och energiproduktionen som möjligt skall baseras på skogsråvara. Den årliga tillväxten i Sveriges skogar motsvarar mer än tre gånger landets årliga utsläpp av koldioxid. De skogsprodukter som varje år tas ut från skogarna minskar genom substitutionseffekter utsläppen med 40 miljoner ton. Om mer av biomassan i den avverkade skogen utnyttjades skulle klimatnyttan kunna höjas till 60 miljoner ton/år, mer än de årliga svenska utsläppen (54 miljoner ton). Vid ökat uttag stiger alltså klimatnyttan ytterligare, så länge tillväxten upprätthålls.

Halten av koldioxid i atmosfären låg tidigare på ca 280 ppm men har under 1900-talet ökat till en nivå över 400 ppm. Orsaken är främst en omfattande användning av fossila bränslen: stenkol, olja och naturgas. Vid förbränning av dessa fossila kolföreningar bildas koldioxid ur kol som tidigare var lagrat i jordskorpan. Den ökande halten koldioxid har allt mer accepterats som en drivande faktor i en observerad höjd global medeltemperatur, genom den s.k. växthuseffekten.

Under senare år har skogens och skogsbrukets möjligheter då det gäller att motverka atmosfärens ökande halter av växthusgasen koldioxid kommit i fokus. Växande skog binder kol och i skogsmark inlagras med tiden stora mängder kol. Genom sin tillväxt tar alltså skogarna upp koldioxid ur luften. Men frågan är hur ett aktivt skogsbruk påverkar dessa processer. Denna skrift ger en principiell bild av hur skogsbruket påverkar dynamiken i kolets kretslopp. Med denna utgångspunkt diskuteras vilka strategier som kan tänkas bidra till en hög förmåga att binda och lagra kol och vilka alternativ som är mindre lyckade ur detta perspektiv.

De gröna växterna kan genom fotosyntesen omvandla vatten och koldioxid till socker med hjälp av solenergi. Sockret utnyttjar träden för att producera de ämnen de behöver för sin tillväxt och som energikälla för sina livsprocesser. Syre utgör en restprodukt av denna process. Då en växt dör, bryts den biomassa som byggts upp under växtens livscykel ned av organismer som lever på den döda biomassan, och det upptagna kolet frigörs åter i form av koldioxid. Med undantag för en mindre del av det organiska kolet som kommer att överföras till markens förråd av organiskt kol är således ett växtsamhälle koldioxidneutralt, eftersom tillväxt och nedbrytning balanserar varandra sett över en längre tid.

I en brukad skog sätts denna jämvikt ur spel. Virkesprodukter borttransporteras för att användas i mer eller mindre långlivade produkter och material. Biomassa förs bort, istället för att lämnas till de naturliga nedbrytarna. I en brukad skog sker därmed en kontinuerlig nettoproduktion av växtbiomassa. Om biomassan används för att substituera produkter eller energi där alternativet baseras på fossilt kol i form av stenkol, olja eller naturgas så bidrar skogsbrukets produktionscykel även till en minskad belastning av växthusgasen koldioxid.

Lagret av kol i svensk skog är mycket stort. Virkesförrådet, drygt 3,1 miljarder m^3sk, motsvarar 4,3 miljarder ton koldioxid. Den ökning av virkesförrådet som skett sedan 1929, då den första Riksskogstaxeringen slutfördes, motsvarar 2 miljarder ton CO_2 eller ca 100 års utsläpp från transporter och arbetsmaskiner på 2016 års nivå.

Även skogsmarken har ett betydande förråd av organiskt kol. Det totala förrådet, ca 1 800 miljoner ton, är till och med högre än den mängd kol som inlagrats i växande träd. (Härtill kan läggas 510 miljoner ton på torvmark och ett stort förråd på icke produktiv skogsmark, som inte medtagits i denna framställning som rör brukad, produktiv skog). Men ökningen av mängden markkol är långsam. I genomsnitt har ca 7 kg kol/ha och år bundits i skogsmark sedan den senaste istiden, att jämföra med de drygt 7 ton kol/ha som årligen binds av den brukade skogen.

Den brukade svenska skogen binder varje år genom sin tillväxt stora mängder koldioxid. Den totala tillväxten är för närvarande 120-130 miljoner m^3sk/år (stamvolym, på bark). Om mängden trädbiomassa (inkluderande stubbar, rötter, grenar, blad och barr) beräknas istället för stamvolymen, så motsvarar den 85-90 miljoner tTS (ton torrsubstans), varav hälften utgörs av kol. Detta innebär, eftersom ett ton kol motsvarar 3,7 ton koldioxid, att nära 170 miljoner ton koldioxid har upptagits från atmosfären.

Uttaget från skogen är mindre än tillväxten. Därmed ökar mängden kol i de svenska skogarna. Lagerökningen kan beräknas genom att tillväxten minskas med avgångarna (avverkning och träd som dör av andra orsaker). Tillväxten, 121 miljoner m^3sk/år, skall då minskas med 96 miljoner m^3sk/år (varav 84 miljoner är avverkning). Det betyder att den årliga lagerökningen är 25 miljoner m^3sk/år, en biomassa motsvarande 35 miljoner ton koldioxid, att jämföra med Sveriges totala utsläpp på 2016 års nivå, 53 miljoner ton koldioxidekvivalenter. De analyser av skogens betydelse för kolcykeln som genomförts visar att det är viktig att upprätthålla en hög nettoproduktion. Genom att förlänga omloppstiderna ökas lagret av kol i skogen, men samtidigt går produktionen ner. Dessa båda effekter tar ofta ut varandra. Att lämna skog för fri utveckling genom t.ex. bildande av reservat ger ett höjt kollager, men efter att det maximalt möjliga virkesförrådet har uppnåtts så uteblir nettoinbindningen av kol nästan helt.

Skogsbrukets utsläpp av koldioxid i samband med olika arbeten undersöktes, med år 2014 som exempel. Totalt rör det sig om knappt 1 miljon ton CO_2/år. Skogsvårdsarbeten (markberedning, plantproduktion, röjning och gödsling) står för ca 60 000 ton, drivning (avverkning och terrängtransport) för ca 386 000 ton och vidaretransporter inklusive utsläpp i samband med väghållning för 521 000 ton. Skogsbrukets samlade drivmedelsförbrukning summerades till 4,71 liter per skördad m^3sk. Skogsbruket har under en lång följd av år lyckats höja energieffektiviteten i sina operationer. Detta är en följd av den tekniska utvecklingen t.ex. vad gäller motorer men också genom ökad medvetenhet om miljö- och klimatfrågorna samt ökat fokus på bränsleekonomin, som kommit att bli allt viktigare. Arbetet med att minska utsläppen från skogsbruket fortsätter. Särskilt inom området vidaretransporter, som ensamt står för drygt hälften av utsläppen, har ett framgångsrikt arbete bedrivits för att höja bränsleeffektiviteten.

INLEDNING

De gröna växterna tar under sin tillväxt genom fotosyntes upp koldioxid och lagrar kolet i sina vävnader. I skogslandet Sverige blir nyttjandet av denna stora naturresurs av avgörande betydelse för hur vi skall kunna bidra till det internationella klimatarbetet.

Kol och klimat

Jordens klimat drivs och skapas av en mängd samspelande processer, vars sammanhang och effekter ännu inte är helt kända. Forskning har kunnat belägga hur klimatet över tid varierat kring ett jämviktsförhållande med utbyte och inbördes påverkan mellan atmosfär, hydrosfär och geosfär. Distinkta händelser, som t.ex. stora vulkanutbrott har haft tydlig effekt på klimatet, vilket kan avläsas i de arkiv som skapas genom årlig sedimentation på havsbottnarna och i inlandsisar. Sådana störningar kan alltså ge tydliga effekter, men klimatet återgår genom det nämnda samspelet till ett nytt jämviktsläge. Var, och i vilken form, grundämnet kol lagras, har en central roll i de modeller som beskriver klimatet. Mänsklig aktivitet har en växande betydelse i detta sammanhang, främst som en följd av omfattande förbränning av fossila koldepåer (stenkol, olja och naturgas) men också genom t.ex. cementframställning, förändrat markutnyttjande, utdikning av torvmarker och avskogning. Härigenom tillförs atmosfären stora mängder koldioxid. En omfattande omföring av ekosystemen från skog till jordbruksmark mobiliserar koldioxid och har flyttat betydande kollager från växtbiomassa och mark till atmosfären. Halten av koldioxid i atmosfären har ökat från knappt 0,03 % under 1800-talet till 0,04 % idag, motsvarande 188 miljarder ton kol. Koldioxid är en växthusgas. Det innebär att den bidrar till att minska mängden solenergi som reflekteras av jorden. Resultatet blir ökande medeltemperatur och förändrat klimat.

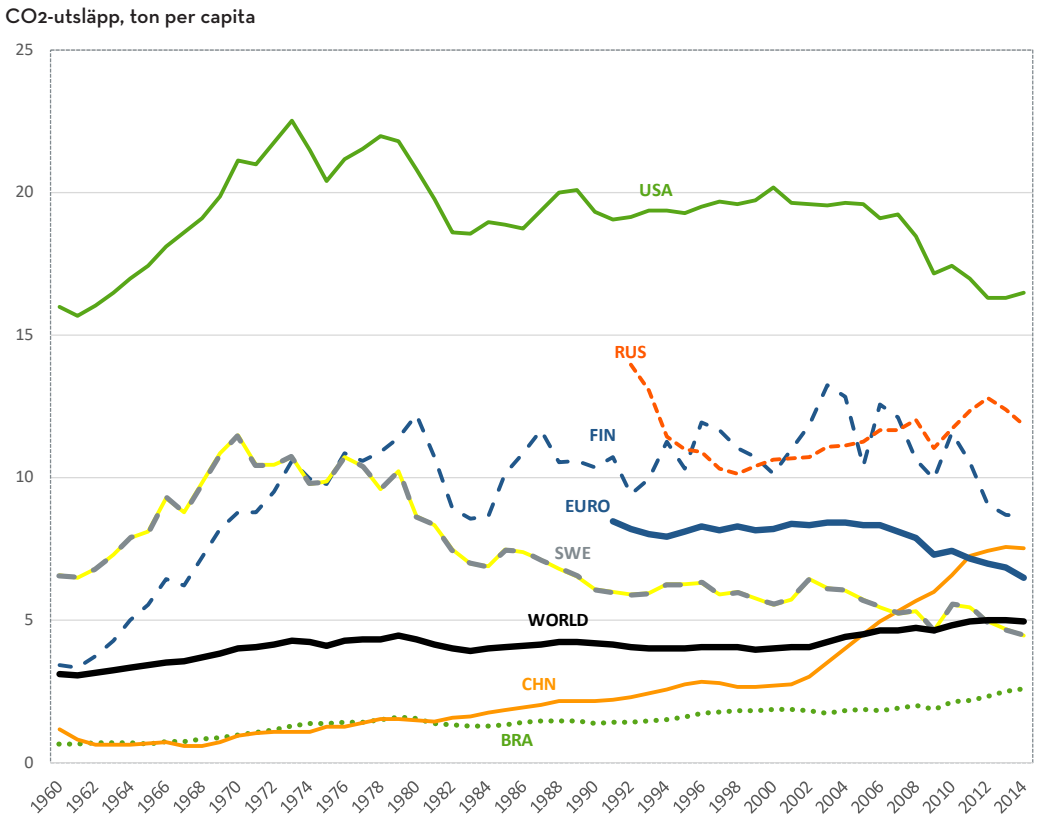
De jämviktsprocesser som inledningsvis nämndes påverkar även världshaven, vilka innehåller ca 50 gånger mer kol än atmosfären (Figur 2). De ökande halterna av kol i atmosfären gör nu att även havets halt av kol ökar. Haven har dock stor förmåga att binda kol som karbonat (CO_3^{2-}), framförallt genom verklig massförekomst av kalkbindande plankton. Då skalen från dessa plankton sedimenterar på havsbotten lagras kolet bundet som kalciumkarbonat i bottenslammet och kan så småningom bilda mäktiga sedimentära bergarter som krita och kalksten. Vattenrörelser i haven har avgörande betydelse för världens klimat, sannolikt mer betydelsefulla än vad som direkt orsakas genom atmosfärens inverkan. Vi vet idag inte vilka effekter den ökande halten av kol i världshaven kan få. Osäkerheten är stor. Många är därför anhängare av den s.k. *försiktighetsprincipen*, dvs. en målsättning att i så liten grad som möjligt påverka den naturliga balansen i kolutbytet.

Sveriges utsläpp av koldioxid i ett internationellt perspektiv

Sverige är ett land med kallt klimat, en betydande tillverkningsindustri och omfattande inrikes varutransporter. Under 1970-talet var landet starkt beroende av tillförd fossil energi och utsläppen av koldioxid låg kring 10 ton per invånare och år. De s.k. oljekriserna under 1970-talets mitt åskådliggjorde hur utsatt landet var vid störningar i energitillförseln. Ett omfattande arbete för att effektivisera energisektorn inleddes. Sverige blev av samma anledning en föregångare vad gäller uppbyggnad av storskalig användning av bioenergi – i stort sett baserad på skogsråvara. Den ökade användningen av biobränslen har medfört att nettotillskottet av ”fossil koldioxid” minskat i ännu högre grad. De totala utsläppen av koldioxid i Sverige för år 2016 var 52,9 miljoner ton exklusive LULUCF[1], (-42,9 miljoner ton) och utrikes transporter (9,4 miljoner ton) (Naturvårdsverket 2018).

Figur 1 visar utsläppen av koldioxid per capita i Sverige, världen, Eurozonen och några utvalda jämförelseländer. Under 1970-talet var de svenska utsläppen mer än dubbelt så höga som världsgenomsnittet. Energieffektivisering och utbyggnad av koldioxidneutral energi har gjort att landets utsläpp sedan dess mer än halverats. Minskningen har inte skett på bekostnad av BNP som utvecklats i positiv riktning, såväl i absoluta tal som relativt. Sveriges utsläpp av koldioxid per invånare och år ligger idag under världsgenomsnittet och är bland de lägsta i Europa.

[1] Land Use, Land-Use Change and Forestry, vilket beskriver effekterna av markanvändning.



Figur 1. Koldioxidutsläpp per capita 1960–2014 i Sverige, världen, Eurozonen och några utvalda jämförelseländer. Sveriges utsläpp av koldioxid låg 2014 strax under det globala genomsnittet. (Baserad på data från Världsbanken).

Kolets kretslopp – en komplicerad väv i tid och rum

Skogen dominerar landskapsbilden i Sverige. Landets 28 miljoner hektar skogsmark utgör en väsentlig grund för kultur och traditioner, bidrar i hög grad till landsbygdens ekonomi och ger ett synnerligen väsentligt bidrag till den svenska handelsbalansen. Under senare år har ett ökande intresse ägnats åt skogens och skogsbrukets roll och möjligheter då det gäller att motverka atmosfärens ökande halter av växthusgaser, främst koldioxid. Växande skog binder kol och i skogsmark inlagras med tiden stora mängder kol. Men frågan är hur ett aktivt skogsbruk påverkar dessa processer.

Inte all skogsmark brukas. Av de 28,1 miljoner hektar som räknas som skogsmark undantas omkring fem miljoner hektar från skogsbruk eftersom tillväxten är lägre än en kubikmeter stamved per hektar och år, vilket räknas som gränsen för produktiv skogsmark. Av den produktiva skogsmarken, med en tillväxt över en kubikmeter per hektar och år, är ca 1 miljon hektar undantagen från skogsbruk med formellt skydd (nationalparker, naturreservat m.m.) och ytterligare 1,3 miljoner hektar har skyddats genom skogsägares frivilliga avsättningar.

Mängden kol bundet i vegetation och mark förändras över tid och beroende på geografiskt läge, klimat och markbeskaffenhet. Även hur människan använder marken, främst olika åtgärder i skogsbruk och jordbruk, och dess historik har stor betydelse för vilken kolsänka som uppnåtts samt om nettoflödet av kol över en viss tid och areal är positivt (kollager byggs upp), i balans eller negativt (området läcker kol). På SLU har Institutionen för mark och miljö byggt upp grundläggande kunskap om dynamiken i kolets kretslopp, i hög grad baserat på inventeringsdata från den svenska Markinventeringen, kombinerat med modeller för de processer som bidrar till kolinlagring och kolets kretslopp.

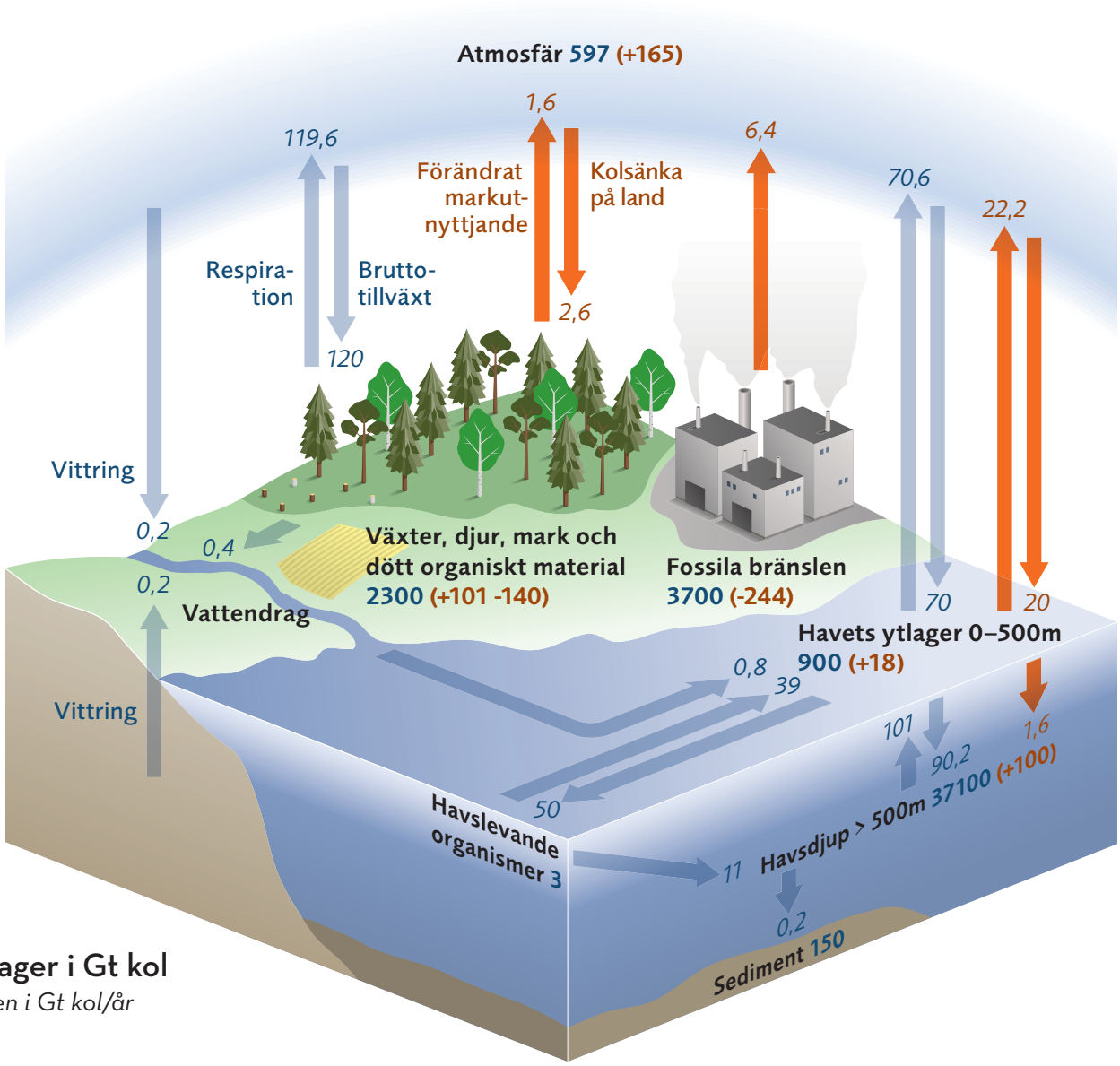
En svårighet då kolbalanser skall upprättas är att göra avgränsningar i tid och rum som på ett rättvisande sätt beskriver nettoeffekterna av olika åtgärder. Ett aktivt brukande av skog enligt trakthyggesmetoden, som är dominerande i Sverige, sträcker sig från skörd och följande anläggning av ett nytt bestånd till dess att det nya beståndet är moget för avverkning. En sådan omloppstid tar i normalfallet mellan 70 och 110 år beroende på markens bördighet och markägarens mål med sitt skogsbruk. Under omloppstiden genomgår beståndet flera olika faser och utsätts för olika åtgärder (t.ex. röjning och gallring) som påverkar både löpande tillväxt och mängden förna (döda växtdelar) som produceras och därmed nettoflödet av kol. Varje sådan fas är intressant att undersöka. Men då den brukade skogens kolförråd och kolinbindning skall summeras bör analyserna göras minst för en hel omloppstid. Ett alternativ är att betrakta skogsbruket i ett landskapsperspektiv, där skogens fördelning på olika utvecklingsfaser kan antas vara relativt stabila över tid.

I denna skrift beskrivs hur den brukade skogen påverkar flödet av kol i biosfären. Därefter beskrivs kolförråd och kolflöden i brukad svensk skog och skogsmark. Beskrivningen ger en förenklad bild av kolförrådets dynamik med siffror för en ”normalskog”, som utgör ett genomsnitt av svensk skog. Denna förenklade bild jämförs med en principiell beskrivning av nettoinbindning av atmosfärisk CO_2 i vegetation och förråd av markkol i skog som inte aktivt brukas. Ett aktivt skogsbruk medför att koldioxid av fossilt ursprung frigörs, främst i form av avgaser från motorfordon och arbetsmaskiner i samband med aktiviteter som avverkning, terrängtransport, skogsvårdsarbeten, virkestransporter, vägbyggnad och -underhåll. I denna skrift redovisas storleken på dessa utsläpp samt hur skogsbruket kan arbeta för att minska sina utsläpp av växthusgaser. Slutligen summeras de olika posterna som en nettobeskrivning av skogsbrukets effekter på kolcykeln.

Avsikten är att ge en principiell bild av hur aktivt skogsbruk påverkar dynamiken i kolets kretslopp. Med utgångspunkt i denna bild diskuteras vilka strategier som kan tänkas bidra till en hög förmåga att binda och lagra kol och vilka alternativ som är mindre lyckade ur detta perspektiv.

Kolcykeln

Kolcykeln, förenklat illustrerad i Figur 2, beskriver hur kol rör sig i olika ekosystem (biosfären) och mellan geosfär, hydrosfär och atmosfär. Kol är ett av de vanligaste elementen och en viktig byggsten i alla organismer. Mängden kol i atmosfären, främst i form av växthusgasen koldioxid, regleras i första hand genom processer i biosfären och hydrosfären. I ett längre tidsperspektiv har mängden kol i atmosfären bestämts av balansen mellan sedimentation av kalciumkarbonat på havsbottnarna, fotosyntes, respiration och nedbrytning i biosfären, vittring av bergarter samt genom utsläpp på grund av vulkanisk aktivitet. Denna balans påverkas nu i allt högre grad genom människans aktiviteter, främst då mark tas i anspråk för jordbruk samt då biomassa och fossila depåer av kol förbränns för energiutvinning.



Figur 2. Kolcykeln och dess globala flöden (efter IPCC 2007). Blå siffror avser förråd i Gt (miljarder ton) av kol och flöden i Gt kol/år före industrialismen, ca 1750. Röda siffror visar hur förråd och flöden bedöms ha ändrats p.g.a. mänskliga aktiviteter omkring 2005.

KOLFÖRRÅD I NORDISK SKOGSMARK OCH SKOG

Träd binder kol

Redan under den första miljarden år av liv på jorden utvecklade cyanobakterier eller blågröna alger förmågan att utnyttja solenergi för att spjälka vatten för sina livsprocesser. Fotosyntesen, som alltså uppstod hos bakterier, blev, enligt Margulis & Sagan (1986), genom de gröna växternas koldioxidfixering, den ”viktigaste utvecklingen av metabolism” och ”en förutsättning för liv på jorden i den form vi känner det”. Träd fångar och binder atmosfäriskt kol i form av växthusgasen koldioxid och frigör samtidigt syre, förenklat genom processen

$$6\,H_2O + 6\,CO_2 + \text{ljusenergi} \rightarrow C_6H_{12}O_6\,(\text{druvsocker}) + 6\,O_2$$

En del av energin åtgår för växternas cellandning, men världens och Sveriges skogar lagrar genom sin nettotillväxt stora mängder kol. Kol absorberas och assimileras av trädens gröna delar och lagras i form av kolväten som cellulosa, hemicellulosa, lignin, stärkelse m.m. Över tiden kommer huvuddelen av det lagrade kolet att finnas i trädens vedartade delar, dvs. i form av stamved, grenar, kvistar och grövre rötter.

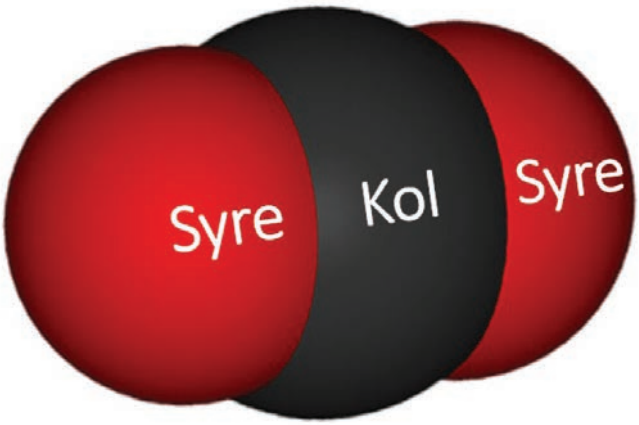
Ungefär hälften av trädens torrvikt består av kol, även om andelen varierar mellan olika trädslag. Barrträd innehåller som regel något mer kol (47–55 %) än lövträd (46–50 %), mest p.g.a. en genomsnittligt högre ligninhalt hos barrträden, ca 30 %, jämfört med 20 % för lövträd (Lamlon & Savidge 2003).

En koldioxidmolekyl består av en kolatom, med atommassa 12 och två syreatomer med atommassa 16, dvs. molekylen har en atommassa på 44, varav 27,3 % utgörs av kol (Figur 3). Ett kilo torr ved består överslagsmässigt av 0,5 kg kol. Vid bildandet av denna mängd ved har 1,83 kg koldioxid (0,5/0,273) bundits i trädets biomassa.

Nedbrytning och förbränning frigör kol bundet i biomassa

Förna, dvs. döda växtdelar i form av grenar, blad och barr liksom stubbar, grenar och toppar som lämnas kvar efter en avverkning bryts så småningom ner av organismer som lever på den näring och energi de kan frigöra ur biomassan. Biomassan bryts ner till koldioxid och vatten och det däri bundna kolet frigörs åter till atmosfären.

Nedbrytningen tar olika lång tid, bl.a. beroende på typ av biomassa. Näringsrika och finfördelade växtdelar som lövförna, barr och finkvistar bryts ner snabbare än grövre, vedartade växtdelar. Klimatförhållanden – särskilt temperatur och tillgång på vatten och syre - har stor betydelse för nedbrytningsförloppet (Li m.fl. 2007). Under fuktiga men syrefattiga betingelser går nedbrytningen mycket långsamt. Våra torvmossar är goda exempel på detta. Även i torra ekosystem går nedbrytningen långsamt.



Figur 3. Koldioxidmolekylen består av två syreatomer, med atommassan 2*16 och en kolatom med massan 12. Koldioxid består alltså till 27,3 % av kol.

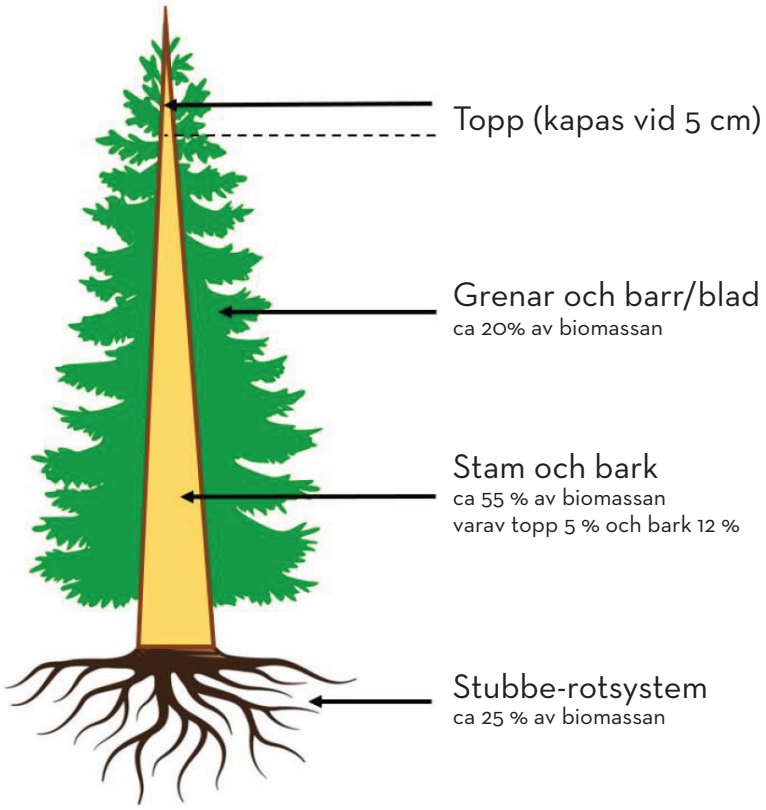
NÅGRA MÅTT PÅ SKOG OCH VIRKE

Skogskubikmeter (m^3sk)
Volymen av hela stammen och dess bark, ovan ett tänkt stubbskär.

Fastkubikmeter under bark (m^3fub)
Volymen av stammens ved, utan bark och utan topp.

Kubikmeter biomassa (m^3f biom)
Volymen av hela trädet, med grenar, barr, stubbar och rötter.

Ton torrsubstans (tTS)
Vikten av biomassan då den torkats. Ungefär hälften av det levande trädets vikt är vatten och hälften av torrsubstansvikten utgörs av kol.



Figur 4. Några av de mått på skog och virke som används i denna skrift

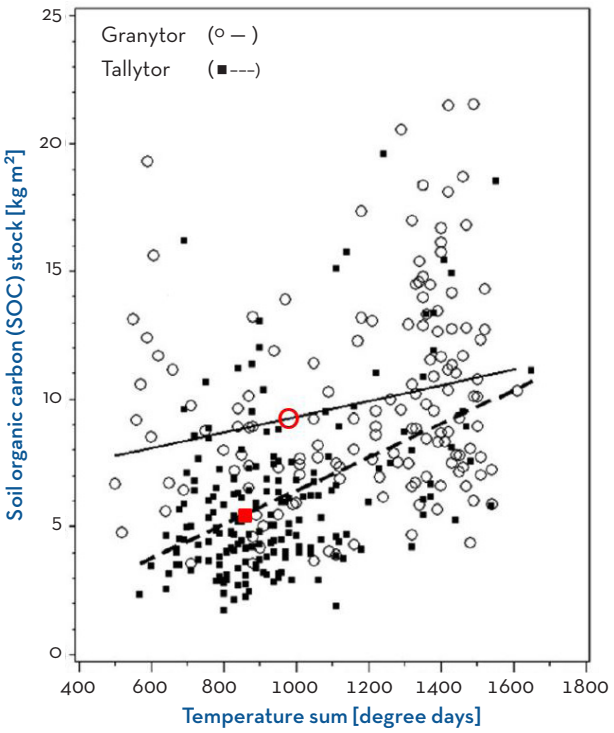
Kolförråd i svensk produktiv skog

Med uppgifter från Riksskogstaxeringen, som publicerar statistik kring Sveriges skogar (Skogsdata 2017) beräknades att biomassan i levande träd utgör 2 685 miljoner ton torrsubstans, till 86 % i produktiv, icke skyddad skog. Denna biomassa fördelar sig till ungefär 55 % på stamved och bark och nära 20 % utgörs av grenar, löv och barr. De återstående 25 % är biomassa i stubbe-rotsystem. Skogarna innehåller dessutom en betydande mängd död ved (223 M m^3sk), landsdelsvis 5–9 % av virkesförrådet. Mängden död ved ökar, dvs. avgångarna från levande skog är högre än pågående nedbrytning. Sannolika orsaker till den ökande mängden död ved är att storskogsbrukets avverkning av döda träd i det närmaste har upphört och att grov död ved istället aktivt skapas, i form av högstubbar som en åtgärd för att skapa förbättrade betingelser för vedlevande organismer (Skogsdata 2016). Men ökningen är långsam och en jämviktspunkt kommer att uppnås där andelen död ved är ganska konstant. Omräknat till kol finns i dag ca 1 160 M ton kol bundet i levande träd i Sveriges produktionsskogar och ytterligare drygt 100 M ton kol i form av död ved.

Skogsmarken som kolsänka

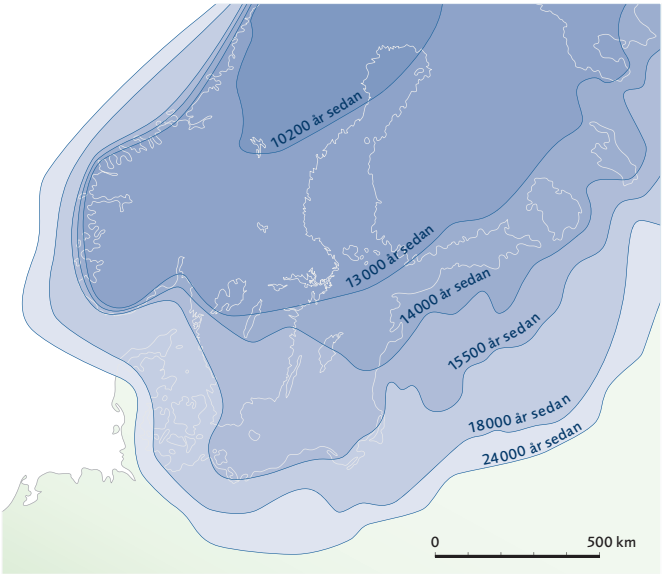
En del av kolet överförs till marken. I skogsmark är lagret av markkol stort. Mark som tidigare varit beskogad, men som överförts till jordbruk, läcker kol till atmosfären, men om marken åter beskogas reverserar denna process och förrådet av kol ökar åter (Post & Kwon 2000). En sådan process kan även kortvarigt observeras på skogsmark efter kalavverkning. Inledningsvis ökar då markkolet som en följd av att stubbe-rotsystem samt andra avverkningsrester lämnas efter avverkning, men därefter kan, åtminstone på bördigare marker, förrådet av markkol sjunka något (Stendahl 2017). Ungefär då beståndet når gallringsmognad (20–30 år) har markkolet åter nått den nivå det hade före avverkning. Orsaken till sänkningen av förrådet kol i marken tycks främst vara ungskogsfasens låga förnafall, jämfört med förhållandena i en sluten skog (Stendahl 2017).

Stendahl m. fl. (2010) undersökte, baserat på riksskogstaxeringens fasta ytor, mängden markkol ner till 100 cm djup i markprofilen. Undersökningen gjordes för trädslagsrena ytor med gran respektive tall på frisk-fuktig podsol på sand eller finare jordart. Man fann att mängden markkol skilde mellan gran- och tallytor. På rena tallytor (n=188) var den genomsnittliga mängden markkol 5,7 kg per kvadratmeter medan granytorna (n=144) i medeltal innehöll 9,2 kg per kvadratmeter. Skillnaden mellan trädslagen minskade i bättre klimatlägen (Figur 5).



Figur 5. Linjär utjämning av uppmätt mängd markkol (SOC) per m^2 till 100 cm djup. Skillnaden mellan trädslagen avtar med ökande temperatursumma. Genomsnittsvärden för respektive trädslag markerad med röda symboler. Efter Stendahl m. fl., 2010.

En interpolation av uppgifterna hos Stendahl m. fl. (2010) gör det sannolikt att det genomsnittliga förrådet av markkol i svensk skogsmark är ca 7,5 kg kol per kvadratmeter eller 75 ton per ha, ner till 100 cm djup. Det totala förrådet av markkol på produktiv svensk skogsmark hamnar då på ca 1 800 Mton. Till detta skall läggas ca 510 Mton kol från skog på torvmark (Stendahl 2017). Kolförrådet på Sveriges ca 7 miljoner hektar impediment, dvs. icke produktiv skogsmark, träd- och buskmark, beräknades inte, eftersom denna areal inte omfattas av skogsbrukets åtgärder. Även på dessa ägoslag lagras givetvis betydande mängder kol i mark och vegetation.



Figur 6. Inlandsisens utbredning och recession i det nordisk-baltiska området.

Schlesinger (1990) undersökte kolets långsiktiga inlagring i jordar med en geologisk ålder av upp till 12 000 år, dvs. mark som exponerats genom inlandsisens avsmältning efter den senaste istiden. Han fann att kol fortlöpande ackumulerats under denna period och att processen fortgår. Inlagringstakten påverkas av klimat, trädslag, brukningsformer och av t.ex. stormar eller skogsbränder. Processen är mycket variabel, från 2 kg kol/ha, år på nederbördsfattig tundra till 100 kg kol/ha, år för den mest bördiga skogsmarken. Genomsnittet för de undersökta ekosystemen var 24 kg kol/ha, år.

Det genomsnittliga förrådet av kol på svensk skogsmark, 75 ton markkol per ha, har inlagrats efter inlandsisens avsmältande, en period på ca 11 000 år (Figur 6). Inlagringstakten på svensk skogsmark alltså varit omkring 7 kg kol per hektar och år. Trots att inlagringsförloppet inte är linjärt och med stora variationer används denna siffra för att beskriva förrådsutvecklingen för kol i svensk skogsmark.

Årlig nettoinbindning av kol i Sveriges skogar

Inbindningen av kol i trädbiomassa varierar över året och begränsas till trädens tillväxtperiod (vår-försommar). Under övriga årstider avgår biomassa genom betning, avdöende och nedbrytning. Väderförhållanden, särskilt samspelet mellan temperatur och vattentillgång, kan göra att balansen mellan tillväxt och avgång av kol från träd och mark är negativ, även under relativt långa perioder (Lindroth m.fl. 1998), men om mängden trädbiomassa ökar under den observerade tidsperioden så har mängden kol lagrat i träden ökat.

Riksskogstaxeringens data (Skogsdata 2017) har även utnyttjats för att beräkna nettoinbindningen (tillväxten minskat med avgångar, främst genom avverkning) av kol i trädbiomassa i Sveriges skogar. Riksskogstaxeringen redovisar tillväxt- och avverkningsstatistik i måttenheten skogskubikmeter, m^3sk, vilket avser volymen av hela stammen ovanför stubbskäret inklusive bark och topp. Den genomsnittliga årliga trädtillväxten på produktiv svensk skogsmark under perioden 2012–2016 var enligt Riksskogstaxeringen nära 121 miljoner m^3sk, medan de årliga avgångarna var ca 96 miljoner m^3sk, varav huvuddelen, ca 84 miljoner m^3sk, utgörs av avverkning.

Eftersom kol även binds i trädets grenar, blad/barr och i stubbe och rotsystem skall de volymer som redovisas av Riksskogstaxeringen räknas upp med volymen hos dessa fraktioner. Även dessa uppgifter kan beräknas med hjälp av Skogsdata 2017 som redovisar att en m^3sk utgör 0,39 tTS samt förhållandet mellan mängden torrsubstans per m^3sk och mängden för hela trädet, med grenar, barr, stubbe och rot som 1:1,8. Denna andel appliceras på uppgifterna om årlig tillväxt respektive avgång.

Trädbiomassatillväxten i svensk skog blir, efter denna omräkning, 85 miljoner tTS/år och den årliga bruttoinbindningen av koldioxid i svensk skog 160 miljoner ton. Nettoinbindningen, efter avdrag för de årliga avgångarna, motsvarar 35 miljoner ton koldioxid per år. Det kan vara intressant att i sammanhanget nämna att Sveriges bruttoutsläpp på 2016 års nivå var av storleksordningen 53 miljoner ton CO_2-ekvivalenter/år (Naturvårdsverket 2018).

En stor del av biomassan i avgångarna lämnas kvar i skogen. Det gäller i stort sett hela den tekniskt uttagbara delen stubbved (stubbe och rötter>5 cm) som utgör ca 21 miljoner m^3f och huvuddelen av grenar, toppar och småträd, som endast i viss utsträckning (8 miljoner m^3f eller omkring en tredjedel av den uttagbara mängden) tillvaratas för energiändamål. Uttaget av skogsbränsle skulle alltså kunna ökas betydligt. Detta ger möjlighet att ytterligare öka skogens klimatnytta t.ex. genom substitution av fossila bränslen.

En jämförelse av kolförråd i orörd respektive brukad skog

Av ovanstående avsnitt framgår att

- trädens nettotillväxt genom kolinbindning bygger upp ett kolförråd i den levande skogens biomassa
- det mesta av det i biomassan bundna kolet återgår som koldioxid till atmosfären, då förna från träden eller döda träd bryts ner och förbränns
- en mindre andel av kolet i biomassan bidrar vid nedbrytning till att bygga upp ett delvis inert förråd av markkol.

I en *brukad skog* vidmakthålls trädens vitalitet och produktionsförmåga genom gallring. Vissa träd skördas då, för att minska konkurrensen för de träd som bedöms ha bäst förutsättningar att växa i volym och värde. All skörd innebär att kol förs bort från skogsbeståndet. Detta leder till ett sänkt kolförråd i den skördade skogen, men bidrar samtidigt till att bygga upp ett kolförråd i form av produkter. Huvuddelen av dessa produkter, som emballage, hygienprodukter och tryckpapper, är kortlivade, medan virke som används för exempelvis möbler och i byggande har en längre uppehållstid. Då skogsprodukter tjänat ut kan de återvinnas. Genom sådan s.k. *kaskadanvändning* kan t.ex. träfiberråvara återvinnas i nya papperskvaliteter upp till sju gånger, för att slutligen nyttjas som biobränsle för produktion av värme och el.

Ungefär hälften av det virke som skördas utnyttjas ganska snart efter avverkning som energikälla, framförallt för värme och elkraft. Detta gäller massaindustrins avlutar[2] samt bark, spån och andra restprodukter från sågverk och annan trämekanisk industri. Som energiråvara utnyttjas även en andel av grenar och toppar och sådant virke som på grund av kvalitets- och dimensionsfel inte kan utnyttjas av skogsindustrin. Vid förbränning frigörs det i biobränslet bundna kolet till atmosfären. Det kan då åter bindas av växande skogar. För förrådet av kol i marken leder avverkning till att kolinlagringen minskar under ungskogsfasen. Detta är direkt en följd av det minskande förnafallet – indirekt beroende på att mängden fotosyntetiserande biomassa har sänkts. Under en kortare period kan kol även frigöras från skogsmarken, men i den geologiskt sett unga boreala skogsmarken anrikas markkol över tid, även om kortare perioder av minskande förråd av markkol kan förekomma efter en skörd eller av naturliga orsaker, såsom väderförhållanden, stormfällning eller skogsbrand.

I en *obrukad skog*, råder en stark konkurrens mellan träden, som utnyttjar i stort sett varje nisch i beståndet. Om en skog stått opåverkad under lång tid kommer förrådet av biomassa (och därmed kol) att närma sig det maximalt möjliga. I sådana skogar slås de svagaste trädindividerna ut, som en följd av den hårda konkurrensen. Tillväxten av ny biomassa balanseras över tid av en lika hög nedbrytning av döda träd och förna. Virkesförrådet, och därmed mängden kol, som binds i trädbiomassa kommer att hålla sig relativt konstant, strax under den maximalt möjliga nivån. (I praktiken utsätts även obrukade skogar för kraftiga störningar som stormfällning och brand, följt av t ex. insektshärjningar. Även i av människan opåverkade skogar fluktuerar alltså virkesförrådet starkt).

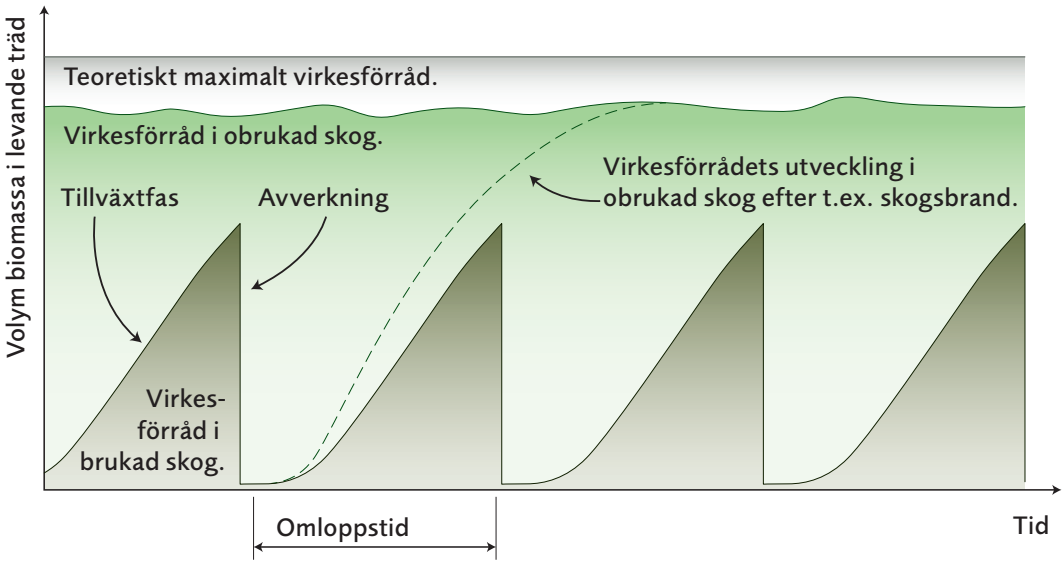
I Figur 7 redovisas en principiell bild av hur virkesförrådet – och därmed lagret av kol bundet i träden – utvecklas i en brukad respektive obrukad skog. Av bilden framgår att en obrukad skog kan nå ett högt innehåll av kol per ytenhet, men därefter har den ingen egentlig förmåga att binda ytterligare kol, om inte ekosystemets grundläggande förhållanden förändras[3]. I den brukade skogen pulserar virkesförrådet med omloppstiden. Mängden lagrat kol ligger på en lägre nivå, men här är nettoinbindningen över tid betydande. Den brukade skogen kommer därmed att upprätthålla en förmåga till nettoupptag av koldioxid från atmosfären som den obrukade skogen inte har.

Skogsbrukssystem, skogsskötselstrategier och koldioxidbalans

Ett stort antal generella studier med direkt (koldioxidfrågan, substitution, bioenergi) eller indirekt (biomassaproduktion, biodiversitet) bäring på skogsbrukets betydelse ur ett klimatperspektiv har publicerats (t ex. Nabuurs & Schelhaas 2002, Russel m.fl. 2015, Pan m.fl. 2011). Frågorna har även uppmärksammats ur ett svenskt eller nordiskt perspektiv (Stendahl m.fl. 2010, Lundmark m.fl. 2014, Lundmark m.fl. 2018). Även arbeten som i huvudsak jämför ”virkesproduktion och biodiversitet” vid olika skogsbrukssätt, t.ex.

[2] Avlut är den restvätska som erhålles efter massakokning och som innehåller upplöst lignin.

[3] Magnani m fl. (2007) visar att ökad koldioxidhalt, höjd medeltemperatur och kvävenedfall leder till en höjd tillväxtpotential i boreala skogar, vilket höjer maximalt möjligt virkesförråd på de påverkade arealerna, om träden har tillräcklig tillgång till vatten (Reichstein m fl. 2007.)



Figur 7 Principiell jämförelse av virkesförrådets utveckling i en brukad respektive obrukad skog. Varje uttag av virkesförrådet i den brukade skogen innebär att upptaget kol förs bort från skogen. Nettoupptaget av kol kan då fortsätta i nästa skogsgeneration. I den obrukade skogen lagras kol, men inget nettoupptag sker.

Skogforsks projekt *KOSS - Konsekvensanalyser av skogsbruks-system* (Sonesson m.fl. 2017) är i högsta grad relevanta. Eftersom de redovisar vilka effekter olika skötselstrategier har på virkesproduktionen visar de även skogens potential att assimilera koldioxid.

Målbild och förväntningar på skog och skogsbruk är komplexa. Jämsides med de virkesproducerande träden skall skogen utgöra en livsmiljö för övriga skogslevande djur- och växtarter och även bidra med andra viktiga ekosystemtjänster. Skogsbruket förväntas bidra till landskapets estetik och ge goda möjligheter till rekreation och friluftsliv. I tillägg till detta förväntar sig skogsägaren intäkter och Sveriges skogssektor är beroende av en uthållig produktion av skogsprodukter till konkurrenskraftig kostnad. Målbildens komplexitet bör inte glömmas bort, även om syftet med denna utredning är att sammanfatta skogens förmåga att motverka stigande koldioxidhalter i atmosfären.

Skogforsks KOSS-projekt avsåg att studera effekterna av att i högre eller lägre grad övergå till s.k. hyggesfritt skogsbruk, där avverkningen sker genom selektiva uttag (blädning, alternativt skärmskogsbruk) på en större yta, istället för att koncentreras genom hyggen. Man utredde konsekvenserna av att införa hyggesfritt skogsbruk på 10, 30 eller 100 % av den brukade skogen. Upplevelsevärdena bedöms öka vid övergång till hyggesfria metoder och tillgången på blåbär, svamp och vissa arter av småvilt ökar. Lövträdsandelen minskar sannolikt i de delar som drivs hyggesfritt.

Vid 10 % omställning skulle virkesproduktionen minska med 2 %, vilket motsvarar ett minskat upptag av drygt 3,4 miljoner ton koldioxid/år. Den mängden motsvarar ungefär det totala utsläppet från Sveriges alla arbetsmaskiner under ett år. Kostnaderna för skogsbruket stiger, eftersom blädning är dyrare än slutavverkning. Därför sänks skogsbrukets lönsamhet.

I alternativet att 30 % sköts genom hyggesfria metoder blir effekten på skogsproduktionen ca 5–6 % lägre tillväxt och en märkbart lägre andel massaved. Eftersom i första hand granbestånd kommer att omföras så blir tillgången på skogsbränsle kraftigt begränsad. Därmed minskas skogsbrukets förmåga att motverka de stigande koldioxidhalterna dubbelt.

Om all skog skulle skötas hyggesfritt, enligt alternativet 100 %, så skulle virkesproduktionen minskas med 20 %. Den minskade inbindningen av koldioxid motsvarar 2/3 av Sveriges årliga bruttoutsläpp av koldioxid. Skogsbränsleråvara, i form av grot (grenar och toppar), försvinner från marknaden, brist på massaved kommer att leda till produktionsbegränsningar i industrin och tillgången på timmer minskar. Skogsbrukets kostnader för avverkning och terrängtransport av virket ökar kraftigt med minskad lönsamhet som följd.

Lundmark m.fl. (2014) studerade det svenska skogsbrukets potential för att, under olika realistiska modeller för skötsel och brukande, motverka stigande halter av koldioxid i atmosfären. De visar att nuvarande skötselmodell har en kraftfull effekt i klimatarbetet, motsvarande 60 miljoner årston CO_2. Deras slutsats är att denna positiva effekt hos boreala (läs svenska) skogar skulle kunna förstärkas. I deras mest klimatpositiva scenario beräknas att en ökning av biomassauttag för energi och produkter kombinerat med produktionshöjande åtgärder i skogsskötsel (plantval och gödsling) skulle minska koldioxidbelastningen med ytterligare ca 40 miljoner ton/år.

En studie av omloppstidens betydelse för skogens förmåga att lagra kol redovisas av Lundmark m.fl. (2018). Dagens omloppstider bygger på produktionsekonomisk maximering av markvärdet. Man jämförde, med analysverktyget Heureka, de optimerade omloppstiderna med alternativen att senarelägga avverkning med 10, 20 eller 30 år som ett sätt att höja

En hög och uthållig nettotillväxt kombinerat med ett hållbart nyttjande av skogsbiomassa är avgörande för skogens förmåga att motverka stigande koldioxidhalter i atmosfären.

kolförrådet i stående skog och förlänga tiden av hög nettoproduktion av biomassa. För granbestånd på bättre mark gav en måttlig (10 år) förlängning av omloppstiden en ökad klimatnytta, men i övrigt balanserades det högre lagret av kol i bestånden av sänkt tillväxt med resultat att klimatnyttan uteblev eller blev dyrköpt. Markvärdet sänktes som en följd av de förlängda omloppstiderna. Som jämförelse gjordes även en test av alternativet att förkorta omloppstiden med 10 år. Även detta alternativ resulterade i sänkt markvärde, men dessutom i sänkt kollager och sänkt nettotillväxt. Slutsatsen av studien blir att beståndens nettotillväxt är en mycket tungt vägande faktor såväl ekonomiskt som för klimatnyttoaspekten.

Sammantaget visar utförda studier att en *hög och uthållig nettotillväxt kombinerat med ett hållbart nyttjande av skogsbiomassa* är avgörande för skogens förmåga att motverka stigande koldioxidhalter i atmosfären. För att skogsbruket skall ge största möjliga bidrag i arbetet för att minska belastningen av koldioxid så bör därför högsta möjliga produktion av biomassa eftersträvas. En sådan satsning förutsätter, för största möjliga nytta, att nya produkter och material baserade på trädbiomassa utvecklas av en utbyggd och kompletterad skogsindustri. Flöden av biomassabaserade produkter och materialutveckling bör utvecklas så att produkternas uppehållstider förlängs och möjligheterna till returanvändning stärks. Så kallad CCS-teknik (Carbon Capture and Storage) för kollagring är enklast att utveckla för sedimentära bergarter. Om tekniken kan utvecklas även för granit och gnejs, vilka dominerar Sveriges berggrund, så kan effekten av skogssektorns biomassabaserade produktion bli att inte endast substituera och undvika emission av fossilt kol utan även att ta bort kol från kretsloppet, en effekt som hittills endast kunnat uppnås genom ökande virkesförråd.

En renodlad satsning på maximerad nettoproduktion av skoglig biomassa kommer i konflikt med andra mål, av vilka några antytt ovan. Som vanligt måste flera berättigade intressen kunna tillgodoses och balanseras mot varandra.

ENERGIANVÄNDNINGEN I SKOGSBRUKET

Skogsbrukets emissioner av koldioxid

Det svenska skogsbrukets förbrukning av drivmedel uppstår i första hand vid huvudoperationerna *drivning* (dvs. avverkning och terrängtransport) och *vidaretransport* från avlägg till virkesförbrukare som står för nära 90 % av bränsleförbrukningen.

Förbrukningen av drivmedel i drivning har undersökts av Brunberg (2006) samt av Löfroth och Rådström (2006), som även studerade dieselförbrukningen i vidaretransport av virket och trender i drivmedelsförbrukningen. I de refererade rapporterna redovisas och förklaras en betydande variation i förbrukning. Bland de viktigare faktorer som, förutom förarens körstil, påverkar bränsleförbrukningen kan nämnas maskinstorlek, val av däcks-, kedje- och bandutrustning, körsträcka, väder och för terrängmaskinerna även topografi, markbeskaffenhet och beståndsegenskaper. I denna skrift har emellertid de genomsnittliga åtgångstalen per kubikmeter ansetts tillräckliga.

Drivmedelsförbrukningen i skogsbränslehantering har undersökts i ett antal fallstudier inom Skogforsks FoU-program Effektivare Skogsbränslesystem.

Brunberg (2006) redovisar en drivmedelsåtgång i drivning på 1,75 l/m^{3}fub som ett sammanslaget genomsnitt för slutavverkning (70 % av virkesfångsten) och gallring. Av detta står skördaren för 1 l/m^{3}fub och skotaren för 0,75 l/m^{3}fub. Löfroth och Rådström (2006) kommer, delvis baserat på samma material, fram till 1,7 l/m^{3}fub som en genomsnittlig bränsleförbrukning i drivning. För vidaretransport fann de drivmedelsåtgången vara 2 l/m^{3}fub vid ett genomsnittligt transportavstånd på 91 km. Löfroth och Rådström fann även en klar trend till ökad energieffektivitet i skogsbrukets drivnings- och transportarbete som gått från 5,4 l/m^{3}fub vid mitten av 1980-talet till 3,7 l/m^{3}fub 20 år senare, år 2005. Förklaringen ansågs bero på en kombination av teknisk utveckling, ökad insikt om bränsleförbrukningens betydelse för lönsamhet och en ökad miljömedvetenhet.

Brunbergs (manus) opublicerade utredning ger något mer aktuella siffror och avser virkesåret 2014. Baserat på ett antal publikationer och på Skogforsks omfattande insamling av driftstatistik summeras åtgång av drivmedel för drivning och vidaretransport av rundvirke och skogsbränsle samt för skogsvårdsarbeten. Huvudresultaten i denna utredning återges i Tabell 1. Utredningen sammanfattar även de möjligheter att minska drivmedelsbehovet som föreligger. Av utredningen framgår att vidaretransporten ensam står för nära hälften (ca 46 %) av den totala bränsleförbrukningen (ca 4,7 l) per kubikmeter. Terrängtransport, upparbetning och vidaretransport av skogsbränsle kräver drivmedel, men då volymerna primära bränslen är relativt blygsamma jämfört med de stora rundvedssortimenten, så blir andelen av den totala bränsleförbrukningen liten. Skogsbränslet står för 7–8 % av den summerade förbrukningen. Drivmedel för skogsvårdsarbeten, främst markberedning, representerar ca 6 % av behovet.

En tillkommande, betydande post utgörs av bränsleförbrukning vid underhåll, uppgradering och nybyggnad av skogsbilvägnätet. En detaljerad uppdelning av denna saknas, men Bergqvist (pers. komm.) anger att av den totala väghållningskostnaden i skogsbruket är 30 % kostnad för material (grus och kross), medan resterande 70 % utgörs av maskinkostnader, varav 17 % är kostnad för drivmedel. Genom att applicera dessa skattningar på väghållningskostnaden för år 2014 (från Skogforsks kostnadsenkäter) har Tabell 1 kunnat kompletteras med siffror över behov av bränsle för skogsbrukets väghållning. Det aggregerade genomsnittet, 4,71 l/m^{3}fub är högre än vad som anges av Löfroth och Rådström (2006) för år 1995, sannolikt beroende på att de endast inkluderar drivning och vidaretransport av rundvirke i sina kalkyler.

Utsläppen av koldioxid från skogsbrukets operationer beräknades dels per kubikmeter, dels totalt för ett år med en antagen avverkningsnivå av 70 miljoner m^{3}fub rundvirke och 8 miljoner m^{3}f skogsbränsle. Diesel väger 835 g/l och består till 86,2 % av kol, dvs 720 g kol/l. Vid förbränning åtgår 1920 gram syre och 2640 gram koldioxid bildas. Med de ingångsdata som redovisas i Tabell 1 blir då utsläppet 12,4 kg CO_2/m^{3}fub eller 970 000 ton per år.

Tabell 1. Bränsleförbrukning i svenskt skogsbruk, 2014. Total förbrukning och procentuell andel per åtgärdstyp samt aggregerat till ett genomsnitt per m^3 uttaget virke. Efter Brunberg (manus), Skogforsks kostnadsenkät för år 2014 och Bergqvist (pers. komm.)

Skogsbrukets bränsleförbrukning 2014					
Totalt		367 400 m^3 bränsle, dvs.	4,71 l/m^3		969 936
		åtgärd: ha, m^3	m^3 bränsle	%	tCO_2/år
Skogsvård totalt:		Summa	22 900	6,2	60 456
Varav:	Planterad areal, ha	176 000	14 100	3,8	37 224
	Markberedning yta, ha	185 000	4 600	1,2	12 144
	Röjning, ha	392 000	3 900	1,1	10 296
	Gödsling, ha	24 000	300	0,1	792
Drivning totalt:		Summa	148 200	40,3	391 248
Varav:	Avverkning m^3fub	70 000 000	74 200	20,2	195 888
	Skotning rundvirke, m^3fub	70 000 000	56 000	15,2	147 840
	Skotning skogsbränsle, m^3f	8 000 000	8 000	2,2	21 120
	Flisning skogsbränsle, m^3f	8 000 000	10 000	2,7	26 400
Vidaretransport, totalt		Summa	196 300	53,4	518 232
Varav:	Rundvirke, m^3fub	70 000 000	161 000	43,8	425 040
	Skogsbränsle, m^3f	8 000 000	9 500	2,6	25 080
	Väghållning, m^3fub	78 000 000	25 800	6,8	68 112

Det mekaniserade skogsbruket har överlag en modern maskinpark, där teknikutvecklingen drivs emot hög driftssäkerhet, sänkt bränsleförbrukning och låga utsläpp.

Åtgärder för minskat behov av fossila drivmedel i skogsbruket

Skogsbruket arbetar aktivt för att fortlöpande minska koldioxidutsläppen från sin verksamhet. Motiven är, förutom en stigande miljömedvetenhet, att kostnaden för bränsle kommit att utgöra en allt högre del av den totala produktionskostnaden. Detta sker dels genom teknik- och metodutveckling för ökad energieffektivitet, dels genom substitution av fossila bränslen. För tekniska framsteg som leder till ökad energieffektivitet är skogsbruket i hög grad beroende av den allmäntekniska utvecklingen. Men en betydande insats sker vad gäller test och implementering av sådana framsteg i den skogstekniska miljön. Som en effekt av detta arbete sänktes det mekaniserade skogsbrukets utsläpp av koldioxid per kubikmeter med en tredjedel från 1970-talets början till 1990-talets slut (Berg 2014). Denna positiva utveckling har fortsatt och bränsleförbrukningen är nu omkring hälften av vad den var då skogsbruket mekaniserades (Brunberg manus).

Den hårda internationella konkurrens som råder inom sektorn gör att skogsbrukets maskinpark och produktionsteknik är mycket modern jämfört med många andra branscher (Brunberg 2006, Löfroth & Rådström 2006). Detta gör att tekniska framsteg snabbt slår igenom.

Skogsvårdsåtgärderna står för en mindre del av skogsbrukets bränsleförbrukning. De två större posterna här är dels energiåtgången i växthus för plantproduktion (3,8 %), som drar ca 80 l bränsle per planterad ha (Aldentun 1999), dels markberedning (1,3 %), där åtgången beräknats till ca 25 l/ha. För plantskolorna finns möjligheter att minska beroendet av fossil energi genom övergång till biobränslen. Energibehovet kan även sänkas genom odling av mindre plantor, vilka tar mindre plats i växthuset och dessutom kräver kortare odlingstid.

För markberedning anger Brunberg (manus) att en övergång till tre- eller fyrradiga aggregat visserligen ökar bränsleförbrukningen per timma, men att prestationen stiger i ännu högre grad. Där finns en tydlig möjlighet till energibesparing. På något längre sikt är det även önskvärt att öka precisionen i markberedning, dvs. att endast markbereda det önskade antalet planteringspunkter. Dagens metoder innebär att en stor andel av markberedningsarbetet utförs där inga plantor kommer att sättas. Nuvarande snabba utveckling av sensor- och analysteknik ger goda möjligheter att utveckla markberedningen i denna riktning.

Inom drivningsarbetet har mekanisering och de alltmer driftsäkra och produktiva maskinerna medfört en betydande sänkning av energiförbrukning per kubikmeter. Under de senaste decennierna har utvecklingsinsatserna på motorsidan inriktats främst på att minska utsläpp av kväveoxider (NOX) och partiklar. Skogsbrukets maskinpark är modern och maskinerna uppfyller väl de uppställda kraven. Denna utveckling tycks nu vara i ett avslutningsskede och flera innovationer med inriktning på bränsleeffektivitet demonstreras nu av de nordiska tillverkarna av skogsteknik. Dels testas intelligenta styrsystem, som skall anpassa effektuttaget till arbetssituationen, dels finns ett omfattande utvecklingsarbete där hybridteknologi appliceras vilket dels kan ge lägre total energiförbrukning, dels, och i högre grad, kan bidra till sänkta emissioner eftersom hybridtekniken ofta återanvänder läges- och rörelseenergi genom elektriska eller hydrauliska ackumulatorsystem.

Intresset att åter med full kraft driva utvecklingen i riktning emot högre energieffektivitet är stort. Minskad spårbildning och effektivare arbetshydraulik skulle spara såväl kostnader som energiåtgång. Men inte enbart den tekniska utvecklingen ger möjligheter. En betydande potential kan realiseras genom förarutbildning. Ett exempel är instruktörsnätverket RECO som framgångsrikt bedriver en omfattande verksamhet inriktad på körteknik och metodfrågor. Olika beslutsstödjande informationssystem, inriktade på taktiskt stöd, t.ex. vägval i terrängen, bedöms kraftfullt kunna sänka skogsbrukets emissioner och övriga miljöpåverkan. Genom denna typ av verktyg förbättras även samordning av drivningsarbetet vilket minskar resursförbrukningen i drivning och – därmed – även bränslebehovet.

Utveckling för att minska skogsmaskinernas utsläpp och bränsleförbrukning pågår kontinuerligt. Här testas hybridteknik på Logsets skördare 12H.

DE SKOGSINDUSTRIELLA PRODUKTERNA I ETT KLIMATPERSPEKTIV

Skogsprodukter kan ersätta eller minska användningen av fossila råvaror som energibärare eller för framställning av olika material och produkter. Förutsatt att tillväxten upprätthålls leder detta till att tillskottet av koldioxid till atmosfären från fossila depåer minskas.

FOTO: ERIK VIKLUND/SKOGFORSK

Substitution

Då skogsråvara används som alternativ till produkter baserade på fossila kolföreningar sker ingen ökning av mängden koldioxid i atmosfären, så länge virkesförråd och tillväxt kan upprätthållas. Om virkesförrådet ökar så har skogen istället bidragit till att minska halten av koldioxid. Detta är fallet i Sverige, där det totala virkesförrådet fördubblats sedan den första riksskogstaxeringen 1923–29, från 1,7 till 3,5 miljarder m^3sk. Därigenom har förrådet av kol ökat med en mängd som motsvarar 40 års totala koldioxidutsläpp på nuvarande nivå, 53 miljoner ton CO_2/år (2016 års nivå, exklusive LULUCF och bunkerolja, enligt Naturvårdsverket 2018).

Lundmark m.fl. (2014), beräknade substitutionseffekter av produkter baserade på trädbiomassa. De redovisar att dagens skogssektor genom substitution genererar en klimatnytta i storleksordningen 470 kg CO_2/avverkad kubikmeter, och att substitutionseffekterna ökar om tillvaratagandet blir mera fullständigt. Det mest produktionsinriktade alternativet gav en klimatnytta på ca 719 kg CO_2/skördad m^3, en ökning med drygt 50 %. I detta alternativ ökades skogsbränsleuttaget från 15 % till 35 % av tillgänglig grot. Dessutom skördades 20 % av tillgängliga stubbar.

Studien av Lundmark m fl. (2014) intar en försiktig hållning vad gäller bedömningen av de klimatfördelar som kan uppnås genom ökad substitution med skogsråvara. Leskinen m fl. (2018) presenterar en bred översikt av området. De fann en genomsnittlig substitutionseffekt på 1,2 i sin genomgång av 51 studier, främst från Norden och Nordamerika. Substitutionsfaktorn 1,2:1 innebär att varje kg kol i en vedbaserad ersättningsprodukt i genomsnitt minskar tillförseln av kol till atmosfären med 1,2 kg. Det är ett högre värde än vad som använts i Lundmarks m fl. studie där en faktor 0,6:1 använts i basalternativet och 0,8:1 i det mest intensiva alternativet. Att stora klimatfördelar föreligger då fossilbaserade material kan ersättas är klart, men effekten varierar. För nya material och produktionsmetoder är underlaget ännu för dåligt för att effekten skall kunna kvantifieras med precision. Analyserna i denna skrift baseras därför på Lundmarks m fl. (2014) mera försiktiga skattning av de positiva klimateffekterna.

Kan vi öka klimatnyttan av den svenska skogen och dess produkter?

Dragkraften i skogen som verktyg för klimatarbetet och en grundförutsättning för ökad klimatnytta av skogsbruket sammanhänger med skogsindustrins efterfrågan på skogsråvara (Björheden & Segeborg-Fick 2014).

Denna insikt rimmar väl med den omställning till en cirkulär, biobaserad ekonomi som nu genomförs av EU med målsättning att öka hållbarheten och att minska miljö- och klimatpåverkan. Denna process förutsätter höjd effektivitet i resursutnyttjande och ger förutsättningar för framväxt av nya företag, produkter, tjänster och jobb. Sverige har intagit en positiv och aktiv hållning (SOU 2017:22) och ligger i många avseenden långt framme då det gäller hållbarhetsaspekter och uthålligt nyttjande, vilket är viktiga förutsättningar för ökad hållbarhet i produkt- och processkedjor.

För svenska förhållanden bör en expansiv skogsindustri, som driver efterfrågan på skogsprodukter utgöra basen för detta arbete. Utvecklingskraften och viljan att utgöra ett nav i den nya bioekonomin finns i näringen och beskrivs t.ex. i branschföreningen Skogsindustriernas Visionsskrift (Skogsindustrierna 2015) liksom i skogsnäringens Färdplan för fossilfri konkurrenskraft (Fossilfritt Sverige 2018). Men en ökad satsning även från samhällets sida skulle kunna öka kraften och hastigheten i en sådan omställning.

Ett ökat stöd till forskning kring de mera tekniska delarna av virkesproduktion och virkesförsörjning är önskvärt. Genom vår världsledande konsekvensforskning runt skogsbrukande kan vi även visa hur skogsutnyttjandet kan balanseras emot andra mål än klimatmålet. Mer utvecklingskraft och forskning bör inriktas emot att stödja utveckling av nya produkter och material, där samverkan med industrin måste bli djupare och få enklare vägar till gemensam finansiering hos landets institut och högskolor.

Exporten av svenska skogsprodukter är större än den inhemska konsumtionen. Det är viktigt att utvecklingen av nya produkter sker med målsättningen att bibehålla attraktiviteten hos produkterna på en internationell marknad. Att i ökad grad bygga med trä har t.ex. länge varit en nationell målsättning. Byggprocesser och system för att bygga i trä har utvecklats. Träbyggande är ett produktsegment som skulle kunna öka efterfrågan på trä i långlivade produkter. Svenskt träbyggande bör kunna exporteras, under förutsättning att regelverk och ambitioner i EU stäms av med de nationella svenska utvecklingsmålen.

Minst lika viktig för omställningen emot en konkurrenskraftig bioekonomi, med bibehållen konkurrenskraft, är en fortlöpande, samrådspräglad översyn av skatter, avgifter, förordningar och föreskrifter som reglerar och styr skogssektorns verksamhet. Välfungerande grundläggande strukturer som räddningstjänst, utbildning, infrastruktur etc. är också en del av samhällets ansvar och kan anpassas för att underlätta omställningen till en grön ekonomi.

Sverige har utvecklat genomtänkta system för hantering av träbaserade produkter, genom produktens hela livscykel från tillverkning, över återanvändning till energiutvinning. Men mer kan göras och dessa system bör även kunna marknadsföras på viktiga exportmarknader som ofta ligger långt efter Sverige i dessa avseenden. Klimatnyttan av de träbaserade energiråvarorna (flis, avlutar, returträ etc.) skulle kunna flerfaldigas genom ett mer fullständigt utnyttjande och en ökad inriktning på framställning av inte enbart värme och elektricitet utan även flytande drivmedel. Tekniken för att fånga och lagra kol i samband med energiomvandling har tidigare berörts. Den kan ge kraftigt förstärkt klimatnytta, eftersom den *bortför* kol ur kretsloppet, som ett tillägg till den växande skogens *bindning* av kol och skogsprodukternas *substitution* av fossilt kol.

REFERENSER

Aldentun, Y., 1999. Livscykelinventering av fyra plantskolor. Skogforsk, Resultat 9-1999.

Anon., 2016. SKOGSDATA 2016, Tema: Skogen då, nu och i framtiden. Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå 2016.

Arrhenius, S., 1896. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. Philosophical Magazine and Journal of Science Series 5, Volume 41, April 1896, sidorna 237-276. Pdf tillgänglig på http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf.

Berg, S., 2014. Skogsbrukets energiförbrukning och miljöpåverkan, i Thor, M. & Thorsen, Å. (Red.), Effektivt skogsbruk – ett långsiktigt miljöarbete, Skogforsk.

Björheden, R. & Segeborg-Fick, A., 2014. Energi från skogsråvara. I Rådström, L. & Thor, M. (Red.) Skogsnäringens värdekedjor, Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens tidskrift, 1/2014.

Buerge, D. M., 2017. Chief Seattle and the town that took his name. Sasquatch books.

Brunberg, T., 2006. Bränsleförbrukning hos skördare och skotare vecka 13, 2006. Skogforsk, Arbetsrapport 623/2006.

Brunberg, T., (manus). Bränsleförbrukning och förslag till minskning. Skogforsk, opublicerad utredning.

Fossilfritt Sverige, 2018. Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – skogsnäringen. http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2018/04/ffs_skogsnaringen.pdf

IPCC, 2007. WGI Fourth Assessment Report (AR4), besökt 2018-04-12 på https://wg1.ipcc.ch/publications/wg1-ar4/wg1-ar4.html

Kuusela, K., 1990. The Dynamics of Boreal Coniferous Forests. SITRA 112, Helsingfors.

Lamlom, S. H. & Savidge, R. A., 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. Biomass and Bioenergy 25 (2003) 381 – 388.

Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern T. & Verkerk, P. J., 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7. European Forest Institute, 28 s. ISBN 978-952-5980-69-1.

Lindroth, A., Grelle, A. & Morén, A.-S., 1998. Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity. Global Change Biology (1998) 4, 443–450.

Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B. C., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F., 2014. Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation, Forests 2014, 5, 557-578; https://doi:10.3390/f5040557

Lundmark, T., Poudel, B. C., Stål, G., Nordin, A. & Sonesson, J., Carbon balance in production forestry in relation to rotation length. Canadian Journal of Forest Research, 2018, 48(6): 672-678, https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0410

Löfroth, C. & Rådström, L., 2006. Bränsleförbrukning och miljöpåverkan vid drivning och vidaretransport. Skogforsk, Arbetsrapport 624/2006.

Magnani, F., Mencuccini, M., Borghetti, M., Berbigier, P., Berninger, F., Delzon, S., Grelle, A., Hari, P., Jarvis, P. G., Kolari, P., Kowalski, A. S., Lankreijer, H., Law, B. E., Lindroth, A., Loustau, D., Manca, G., Moncrieff, J. B., Rayment, M., Tedeschi, V., Valentini, R. & Grace, J., 2007. The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. Nature 447, 849–851, 14 June 2007. doi:10.1038, nature05847

Nabuurs, G.J. & Schelhaas, M.J., 2002. Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. Ecological Indicators 1 (2002) 213–223.

Margulis, L. & Sagan, D., 1986. Microcosmos: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors. Univ. California Press, 1997.

Naturvårdsverket, 2018. Så mår miljön, http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-nationella-utslapp-och-upptag/? Besökt 2018-07-30

Pachauri, R.K. & Reisinger, A. (Eds.), 2007. IPCC Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. & Hayes, D., 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests, Science Vol 333, 19 August 2011, från http://science.sciencemag.org/ den 30 Mars, 2018.

Post, W. M. & Kwon K. C., 2008. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential, https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x

Reichstein, M., Papale, D. Valentini, R., Aubinet, M., Bernhofer, C., Knohl, A., Laurila, T., Lindroth, A., Moors, E., Pilegaard, K. & Seufert, G., 2007. Determinants of terrestrial ecosystem carbon balance inferred from European eddy covariance flux sites. Wiley Online Library, Geophysical Research Letters, 34, L01402, https://doi.org/10.1029/2006GL027880

Russell, M. B., Fraver, S., Aakala, T, Gove, J. H., Woodall, C. W., D'Amato, A. W. & Ducey, M. J., 2015. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A review. Tamm Review: Forest Ecology and Management 350 (2015) 107-128, http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.033

Schlesinger WH (1990) Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. Nature 348, 232-234.

Skogsindustrierna, 2015. Skogsindustriernas visionsskrift 2015, http://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/vision/visionsskrift.pdf

Slu-markinfo http://www-markinfo.slu.se/sve/kem/cnph/cn.html 2018-03-20.

Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wallgren, M., Weslien, J. & Wilhelmsson, L., 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå. Skogforsk, Arbetsrapport 926/2017.

SOU 2017:22 Från värdekedja till värdecykel. Stockholm, Fritzes.

Stendahl, J., Johansson, M.-B., Eriksson, E., Nilsson, Å. & Langvall, O., 2010. Soil organic carbon in Swedish spruce and pine forests – differences in stock levels and regional patterns. Silva Fennica 44(1): 5–21.

Stendahl, J., 2017. Skogsmarkens kolförråd. I: Anon., 2017. SKOGSDATA 2017, Tema: Skogsmarkens kolförråd, Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå 2017.

skogforsk

skogforsk.se