

Ammar stora träd små trädplantor via magisk mykorrhiza?

Det finns många åsikter om hur träd bör planteras. **Peter Högberg** och **Mona N. Högberg** reder ut några missuppfattningar.

DEN TYSKE SKOGSDEBATTÖREN Peter Wohlleben har skrivit flera populära böcker om hur träd kommunicerar med varandra (t.ex. Wohlleben 2016). Han menar att kommunikationen bland annat sker via de nätverk av hyfer som trädens symbiotiska mykorrhizasvampar bildar. Nätverken kan sammanbinda individuella träd och till och med olika arter av träd. Via nätverken kan träden skicka både socker från sin fotosyntes och näringsämnen som de har tagit upp ur marken till andra växter. Enligt Wohlleben kan stora träd, moderträd, ge socker och näring till sina avkommor och på så sätt en god start i livet.

Enligt en del debattörers idéer bör vi revidera vårt skogsbruk och överge den metod för skogsförnyring som är vanligast, det vill säga plantering på öppna hyggen. Ett så kallat bländningsbruk, där man bara tar bort ett mindre antal träd åt gången vid avverkningar, skulle kunna fungera bättre med tanke på möjligheten att de äldre träden skulle kunna vara ammor för unga trädplantor. Den bästa beskrivningen av ett sådant system är engelskans "*continuous-cover forestry*".

Wohllebens idéer går dock mycket längre än så. Egentligen vill han inte att man bedriver skogsbruk alls för han ser träden som besjälade varelser. Han beskriver fenomenen som inte har vetenskapligt stöd. Men delar av hans berättelse (se första stycket ovan) har inspirerats av vetenskapliga upptäckter. Vad som har vetenskapligt stöd och i övrigt stämmer med beprövad erfarenhet är intressant att utreda dels beroende på berättelsens stora popularitet, dels på dess politiska sprängkraft. Vid ett seminarium om EU:s skogspolitik 2020 fick Wohlleben inleda med en så kallad "inspirationsföreläsning".

Vi diskuterar i denna artikel vad forskning säger om tesen att stora träd ammar små trädplantor via mykorrhizanätverk i våra skogar. I bakgrunden finns frågan om samhället ska vägledas av fascination för berättelser som besjälade naturen eller av insikter från vetenskapliga studier.

Vad är mykorrhiza och mykorrhiza-nätverk?

Växter och svampar är genetiskt mycket olika. Svamparna är till och med mer lika oss människor och andra djur än de är lika växter, men de kan bilda olika typer av symbioser med växter. Symbiosen mykorrhiza (grekiska för svamprot) beskrivs populärt som ett samarbete där

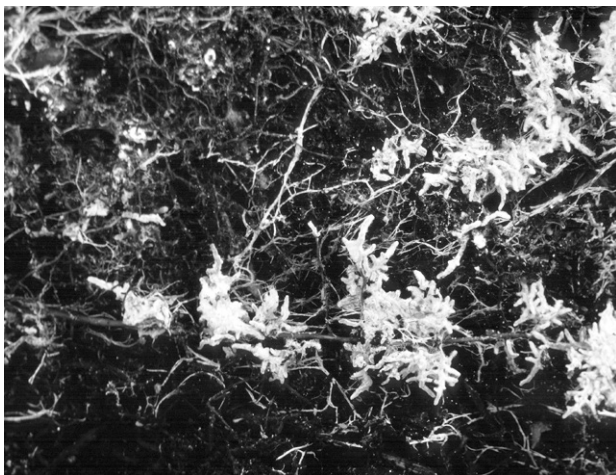


Bild 1: Trädrötter täckta med vit ektomykorrhizasvamp. Lägg märke till de vita hyferna och rhizomorferna som växer genom den mörka humusen i skogsmarken. Hyferna och rhizomorferna utgör mykorrhizanätverket som kan binda samman växter. Foto Kjell Olofsson.

svampen får kol (kolhydrater) från växternas fotosyntes i utbyte mot näringsämnen från marken. Mykorrhiza är så utbredd i naturen att växter nästan aldrig förekommer utan någon svamppartner. Relationen mellan parterna varierar från att de är totalt beroende av varandra till olika grader av parasitism, men där bägge parterna ändå överlever och kan producera avkomma. Relationen kan variera även inom samma typ av växt-svampsymbios beroende på bland annat näringstillgång. Den symbios som är mest studerad och relevant i nordliga skogar kallas ektomykorrhiza. Trädens rotspetsar är övervuxna med så kallade ek-

tomykorrhizasvampar. Svamptrådarna (hyferna) bildar en vävnad runt de tunnaste trädrötterna, och växer in mellan de yttersta lagren av växtens rotceller, men bildar också hyfer som växer ut i marken (Bild 1). Hyferna kan nå andra växter och bilda symbios även med dem och därmed ett mykorrhizanätverk. Om detta råder inga tvivel.

Kan växter skicka kolföreningar och näringsämnen mellan varandra via mykorrhizanätverk?

Svamphyfer är så tunna att mikroskop behövs för att se dem. Ibland växer de samman till buntar och bildar tjockare så kallade rhizomorfer. Men de är ändå mycket svåra att studera direkt i marken, särskilt eftersom markpartiklarna är ogenomskinliga. Dessutom väver svamphyfernas trådar ihop markens översta skikt av dött organiskt material till en tät matta som är svår att ta isär och därmed svår att studera. Flödet av de energirika kolföreningar som driver livsprocesserna avbryts dessutom om hyferna skadas. Detta gör det extremt svårt att studera hur mykorrhiza fungerar direkt i naturliga system. Ofta använder forskare därför förenklade system som kan observeras på laboratorium. Det innebär förstås att man studerar små plantor snarare än stora träd.

Studier på laboratorium har visat att kolföreningar och näringsämnet kväve kan transporteras mellan växtindivider via ett gemensamt mykorrhizanätverk. Men en viktig sak att visa har varit om det rör sig om stora flöden netto i en viss riktning, det vill säga om växten A skickar mycket kol till B (eller tvärtom), snarare än om de utbyter lika stora mängder kol, vilket skulle ha mindre betydelse. Intressanta växter i sammanhanget är de så kallade my-

koheterotroferna, som inte innehåller eller har endast lite klorofyll och därmed ingen eller liten fotosyntes. Man fick tidigt belägg för att dessa växter hade en nettoimport av kol från andra växter via mykorrhizasvamparnas mycel. Björkman (1960) injicerade socker (inmärkt med radioaktivt kol-14) i innerbarken på barrträd och kunde sedan spåra kolet till tallört, en mykoheterotrof. Tallörten har säkert ett ursprung som grön växt, men har utvecklats till att nu helt sakna klorofyll tack vare att örten förses med kolhydrater via mykorrhizanätverket.

Ett viktigt genombrott gjordes när man studerade trädplantor (inte stora träd) i skogen och märkte in planta A med en radioaktiv kolisotop och planta B med en stabil, icke-radioaktiv kolisotop (Simard m.fl. 1997). Då kunde man visa att kol visserligen rörde sig i bägge riktningarna, men att kolflödet var något större i den ena riktningen. I efterföljande experiment visades att man kunde åstadkomma ett större nettoflöde till en växtindivid genom att beskugga den. Det större nettoflödet berodde naturligtvis på att växtens egen export minskade och inget annat.

Studien av Simard m.fl. etablerades som ett vetenskapligt stöd för att trädplantor kan utbyta kolföreningar och näringsämnen mellan sig via nätverk av mykorrhizasvam-

par. Fenomenets kvantitativa betydelse under naturliga förhållanden är dock fortfarande osäker. Och det är här, mitt i osäkerheten, som speku-

Tallörten har säkert ett ursprung som grön växt, men har utvecklats till att nu helt sakna klorofyll

lationerna tar fart. Wohllebens böcker är en del av dessa spekulationer, men även forskare har spekulerat.

Man har gjort experiment där man studerat förenklade modellsystem, men extrapolerat till komplexa naturliga system. I en artikel i den ansedda tidskriften *Science* (Klein m.fl. 2016) studerade man visserligen stora träd, återigen med hjälp av av inmärkt kol, men skiljde inte mellan den överföring av kolföreningar man ville studera och en möjlig effekt av förhöjd koldioxidhalt. I experimentet exponerades träden A för högre halt av koldioxid, men inte träden B, som mottog det inmärkta kolet. I ett idealt experiment skulle både A och B ha utsatts för förhöjd koldioxidhalt i luften.

Sammantaget finns det vetenskaplig grund för tesen att träd och andra växter kan utbyta kolföreningar och näringsämnen via gemensamma nätverk byggda av mykorrhizasvampar. Däremot finns det ingen god grund för antagandet att dessa flöden är betydande. Undantaget är mykoheterotrofer, vilka är intressanta som fenomen, men aldrig utgör ett kvantitativt betydande inslag i skogsekosystem.

Vad visar då forskning och beprövad erfarenhet om möjligheten att stora träd ammar trädplantor via mykorrhizanätverk i våra nordliga skogar?

Redan för hundra år sedan gjorde forskare observationer och utförde experiment, som är mycket relevanta i sammanhanget. Aaltonen (1919) studerade näringsfattiga finska tallskogar och fann att den naturliga föryngringen av små plantor var mycket dålig i sluten skog, men påtagligt bättre i större gläntor i skogen. Ett sådant mönster kan

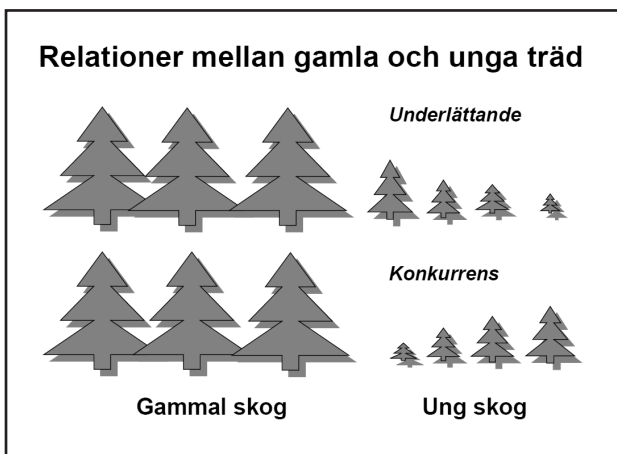


Bild 2. Den övre figuren illustrerar hur unga träd skulle växa om de "ammades av moderträd" via mykorrhiza-nätverk. Den nedre figuren visar hur unga träd växer om de konkurrerar med äldre träd och deras mykorrhizasvampar om näring i marken. Den (nedre) bilden stämmer med både experiment och beprövad erfarenhet.

uppstå om konkurrensen om ljus är en viktig faktor, men kan också bero på rötters konkurrens om näring och vatten i marken.

Plantering eller sådd på hyggen visade sig ge snabbare växande plantor än plantering inne i skogarna, även om man gallrat bort några träd i dessa. De snabbt växande ungskogor och medelålders skogor som blev resultatet, var en anledning till att skogsbruket övergick från s.k. blädning (kan beskrivas som ständiga gallringar där de flesta träden lämnas kvar) till slutavverkning som dominerande metod. På öppna hyggen finns inga moderträd eller endast enstaka träd, som kan ha förmågan att potentiellt amma

sin avkomma genom att ge den näringsämnen och vatten. Ibland lämnas s.k. fröträd för att befrämja naturlig föryngring, men inte heller rakt under dem är föryngringen särskilt riklig. Begreppet föryngringsbrunnar antyder det motsatta. Praktiska erfarenheter pekar således inte på att större etablerade träd underlättar för sin avkomma utan snarare på att de konkurrerar med den (Bild 2).

För ungefär hundra år sedan gjordes även så kallade rotavskärningsexperiment. I dessa slogs plåtar ned i marken för att avskärma ytor inne i skogen från inflytandet av aktiva trädrötter och deras mykorrhizasvampar. Man observerade då att det inte blev några fruktkroppar alls av mykorrhizabildande svampar på ytorna som saknade aktiva trädrötter (Romell 1938), men en påtagligt bättre föryngring av trädplantor (Romell & Malmström 1945). Behandlingen med rotavskärning påverkade inte ljusförhållandena inne i skogen, men tog bort den konkurrens om näring och vatten som de stora träden kunde ha stått för. Resultatet motsäger tesen att vuxna moderträd har en viktig roll som ammor i dessa system.

I ett mer sentida experiment bröt vi strömmen av socker från träd Kronorna till deras rötter och mykorrhizasvampar genom att ringbarka träden på större ytor. På ytorna med ringbarkade träd bildade mykorrhizasvamparna inga fruktkroppar (Högberg m.fl. 2001), men även här blev det en kraftig föryngring av trädplantor jämfört med på så kallade kontrolltytor där inga träd ringbarkades (Axelsson m.fl. 2014). Även detta resultat motsäger tesen om ammande moderträd, eftersom ljusförhållanden inte påverkades under den tid då föryngringen tog fart på ytorna med ringbarkade träd.

Direkta experiment i våra näringsfattiga skogar och beprövad erfarenhet pekar således snarare på att frånvaro av större träd och deras mykorrhizasvampar gynnar etableringen och tillväxten av unga trädplantor (Bild 2). Hur kan det vara så?

Vi har haft en alltför förenklad bild av ektomykorrhizasymbiosens funktion!

Beskrivningen av mykorrhiza som en symbios leder tanken till något som alltid under alla förhållanden är till nytta för bägge parter i relationen. I fallet ektomykorrhiza tänker nog många att den leder till stora träd och många svampfruktkroppar. Forskare som funderat mer förutsättningslöst har istället diskuterat ömsesidig parasitism eller pekat på att det rör sig om ett variabelt kontinuum från mutualism (nytta för bägge parter) till parasitism. Modern forskning visar att relationens karaktär kan variera mycket beroende på förändringar i miljön och hur de inblandade organismernas fysiologi svarar på dessa ständiga förändringar.

Det fundamentala antagandet att svampen ger växten näringsämnen i utbyte mot socker från växtens fotosyntes görs av forskare, skollärare m.fl. jorden runt när de beskriver mykorrhizas funktion. Onekligen kan mykorrhizan fungera så enkelt under vissa förhållanden. Vi

**Resultatet motsäger
tesen att vuxna
moderträd har
en viktig roll som
ammor i dessa
system.**

har studerat nordliga näringsfattiga skogar och där undersökt utbytet av kol från trädens fotosyntes och kväve som mykorrhizasvamparna tagit upp från marken. Vi har låtit träden ta upp koldioxid inmärkt med en stabil (icke-radioaktiv) kolisotop, kol-13, medan svamparna tagit upp kväve från marken inmärkt med den stabila kväveisotopen N-15.

Våra studier visar att mykorrhizasvamparna tar upp mycket kväve, som de använder för sina egna behov, snarare än att skicka det vidare till träden (Näsholm et al. 2013). Den låga tillgången på näringsämnet kväve begränsar trädens tillväxt. Om man tillför kväve till skogsmarken, så överför mykorrhizasvamparna mer kväve till träden som då växer väsentligt snabbare. Om man beskuggar träden, vilket minskar mängden kol till mykorrhizasvamparna, så ökar man transporten av kväve från marken via svamparna till trädkronorna (Hasselquist et al. 2016). Mykorrhizasymbiosen borde enligt den populära beskrivningen ”hjälpa” träden att ta upp kväve från marken i utbyte mot socker, men relationen är uppenbart mer komplex än så. Växelkursen kväve för kol är tydligen inte konstant.

Att växelkursen inte är konstant beror på att den regleras fysiologiskt och dynamiskt när träden och mykorrhizasvamparna reagerar på förhållanden i miljön. Är det ont om näring, så satsar träden mer socker på att bygga ut rotsystemen (jämfört med ovanjordsdelarna) och därmed kommer mer kol mykorrhizasvamparna till del (Högberg et al. 2010). Svamparnas fysiologiska svar på högre kolhydrattillgång är att växa och bilda mer mycel, men då behöver de mer kväve och andra näringsämnen. Men då det redan råder brist på kväve i de boreala skogsmarkerna,



behåller svamparna då en allt större andel av kvävet de tar upp för egen del och skickar allt mindre vidare till träden. I ett sådant system finns det inga eller ytterst små överskott av kväve att dela med mindre plantor.

Hur kan evolutionen ha lett till denna synbara återvändsgränd? Först och främst så behöver varken träd eller svampar (eller andra mikrober) bli jättestora för att hävda sig i konkurrensen med andra organismer. Det viktiga är att kunna producera en vital avkomma. Det gör träden och svamparna i de näringsfattiga skogarna. Ektomykorrhizasymbiosen skapar en uppenbar fördel för bägge parter ur evolutionär synpunkt och det är ett extremt kvävefattigt skogsekosystem där mycket kväve är bundet i mykorrhizasvamparna, vilket gör det omöjligt för mer kvävekrävande växtarter att växa och reproducera sig.

Samtidigt växer barrträden och de få andra arter som klarar dessa näringsfattiga förhållanden, t.ex. blåbär, lingon, linnea och ljung, mycket långsamt. Även barrträdsplantor etablerar sig dåligt, och ifall de gör det, så växer de långsamt under sina ”moderträd”. Under naturliga förhållanden sker omfattande föryngring efter skogsbrand, som försvagar mykorrhiza-symbiosen genom att träd skadas eller dör och genom att svampmycelet försvagas eller dödas av en kraftig värmepuls. Det paradoxala, sett till tidigare teori om mykorrhizas funktion, är att störningar som bryter strömmen av socker till mykorrhizasvamparna, t.ex. skogsavverkning, stormfällning och skogsbrand, samtidigt frigör växttillgängliga kväveformer när det tidigare vitala mykorrhizamycelet dör och bryts ned. Kväve som då frigörs tas upp av unga trädplantor, vilka därför växer mycket bättre på färska öppna hyggen än under moderträd i tät skog. Moderträden i skogen ammar inte sin avkomma. Det är dock möjligt att det fungerar annorlunda i kväverikare skogar på andra ställen i världen och även på de små arealer av kväverik skog som förekommer i boreal skog.

Skogen i vårt hjärta och i vår hjärna

Skogen berör oss på många sätt. Vi som skrivit denna uppsats ser skogen som en omistlig del av våra liv och vårt hem. Svamp- och bärplockning är viktiga för oss. De små, eleganta vita blomställningarna hos ekorrhör i det sneda ljuset en sommarkväll är en av våra oändligt många skönhetsupplevelser i skogen. Några beskriver upplevelser av magi i skogen. Kanske symboliserar skog för många den sista utposten av ”riktig” natur i en av människan i övrigt

nästan helt omvandlad värld, en sista trygghet. Sanningen är att mycket i naturen förändras hela tiden av sig självt helt naturligt, men det går ofta för långsamt för att vi ska uppfatta det på kort sikt.

Skogsbruk består däremot av åtgärder, som ibland är mycket tydliga och ses därför lätt som ett brott mot naturliga förhållanden. Vad det naturliga består i definieras av betraktaren. Vi människor är fenomenala på att tycka oss se mönster, eftersom de hjälper oss att försöka förstå omvärlden (Kahneman 2013). I brist på tydlig och allmänt erkänd teori kan sådana vaga mönster i förening med förenklade populistiska beskrivningar av typen ammande moderträd etableras som förklaringsmodeller.

Forskare som försöker förstå hur skogen verkligen fungerar måste använda vetenskapliga metoder och logik. De måste vara ödmjuka inför skogsekosystems komplexitet, men kan inte bygga förklaringar på sådant som inte går att testa eller inte håller för ett test. Hypotesen att moderträd ammar små trädplantor via mykorrhizasvampar på ett sätt som är avgörande för plantornas etablering och tillväxt saknar definitivt stöd av vetenskapliga studier gjorda i våra näringsfattiga skogar. ✍

Referenser

- Aaltonen VT 1919. Über die natürliche verjungung der heidewälder im Finnischen Lappland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 1, 1–139.
- Axelsson EP m.fl. 2014. Belowground competition directs spatial patterns of seedling growth in boreal pine forests in Fennoscandia. *Forests* 5, 2106–2121.
- Björkman E 1960. *Monotropia hypopitys* L. – an epiparasite on tree roots. *Physiologia Plantarum* 13, 308–327.

- Hasselquist NJ m.fl. 2016. Greater carbon allocation to ectomycorrhizal fungi reduces tree nitrogen uptake in a boreal forest. *Ecology* 897, 1012-1022.
- Högberg MN m.fl. 2010. Quantification of effects of season and nitrogen on tree below-ground transfer of carbon to ectomycorrhizal fungi and other soil organisms in a boreal pine forest. *New Phytologist* 187, 485-493.
- Högberg P m.fl. 2001. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature* 411, 789-792.
- Kahneman D 2013. Tänka, snabbt och långsamt. *Volante*.
- Klein T m.fl. 2016. Belowground carbon trade among tall trees in a temperate forest. *Science* 352, 342-344.
- Näsholm T m.fl. 2013. Are ectomycorrhizal fungi alleviating or aggravating nitrogen limitation of tree growth in boreal forests? *New Phytologist* 198, 214-221.
- Romell LG 1938. A trenching experiment and its bearing on problems of mycotrophy. *Svensk Botanisk Tidskrift* 32, 89-99.
- Romell LG & Malmström C 1945. Henrik Hesselmanns tallhedsförsök åren 1922-1945. Statens Skogsförsöksanstalt, Stockholm.
- Simard S m.fl. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388, 579-582.
- Wohlleben P 2016. Trädens hemliga liv. Norstedts.