



Jordlevende sopp

Reidun Pommeresche, Theo Ruissen og Erik Joner, Bioforsk
E-post: reidun.pommeresche@bioforsk.no

Jordlevende sopp vokser som lange trådformede strukturer kalt hyfer. Når flere hyfer vokser sammen dannes et hvitaktig mycel som vi kan se med det blotte øye. Sopp har ikke klorofyll og må derfor skaffe seg næring på annet vis. Det gjør de ved å hente næring fra organisk materiale i jorda, fra å bryte ned ferske planterester på overflaten og/eller ved å leve i samliv (symbiose) med levende planterøtter (bildet). Selv om man kan se store og små sopper på overflaten, er det alltid slik at mesteparten av soppen finnes under jordoverflaten.

Sopp kjenner vi gjerne som piggsopp, steinsopp og kantarell som vi finner i skogen. Det er fruktlegemene hos storsoppene, med sporer (frø) på pigger, i rør eller mellom lameller (skiver) på undersiden. Mange sopp lever hovedsakelig under bakken. De finnes særlig i det øverste jordlaget og mange danner aldri slike synlige overjordiske hatter. De danner i stedet mikroskopisk små strukturer med sporer. De formerer seg i hovedsak ukjønnnet, men en del kan også formere seg kjønnnet. Slike sopper kalles gjerne mikrosopp. Mikrosopp danner også underjordiske hyfer (celletråder) som vokser sammen til et forgrenet nettverk som kalles mycel. Fargen kan variere fra hvit, lett gjennomsiktig til brun. Mange er mikroskopiske i alle faser i livssyklusen.

Mens celleveggene i planteceller inneholder mye cellulose, har de fleste sopper mest kitin i sine vegger. Kitin finnes også i insekter, edderkopp- og krepsdyr. Det er mer motstandsdyktig mot mikrobiell nedbrytning enn cellulose.

Hva gjør så jordlevende sopp?

Mesteparten av soppene knyttet til jord er nedbrytere og omdannere, som lever av døde plante- og dyrerester. De er såkalte saprofytter. De bruker næring og energi i organiske materiale og etterlater seg et mer omdannet og stabilt organisk materiale som til slutt blir en del av den stabile humusfraksjonen i jorda. Bakterier er ofte mest aktive tidlig i en omdanningsprosess av organisk materiale og konkurrerer sterkt med sopper om de lettfordøyelige stoffene (frie aminosyrer og karbohydrater). Sopp derimot dominerer ofte når materialet er mer omdannet og næringsstoffene mindre tilgjengelige.

Mange mikrosopp lever fritt i jorda, mens andre lever i samliv med planter (symbiose), enten til nytte (mykorrhiza) eller til skade (patogene) for planten. Noen sopper er parasitter på sopp eller på andre jordlevende organismer, mens andre igjen er rovdyr og kan fange nematoder. Sopp utøver viktige funksjoner i jorda relatert til nærings sirkulering, vannopptak, regulering av patogene organismer og fysisk stabilisering av jord.

Organisk materiale - fellesbetegnelse på materiale som stammer fra levende organismer, materiale som inneholder karbonatomer. Eks. planterester, husdyrgjødsel, flis, løv, halm og matrester.



Figur 1. Mange ulike typer sopp lever av organisk materiale. Noen ganger kan vi se soppens hvitaktige mycel i komposten og i strø som vi løfter opp fra bakken. Foto: Øystein Haugerud, FM Buskerud.

Omdannere (nedbrytere)

Sammen med bakterier er sopp de viktigste nedbryterne vi har. De bruker organisk materiale til å skaffe seg energi og næring for å formere seg. Proteiner og andre nitrogenrike makromolekyler omdanner soppen til aminosyrer og ammonium som den bruker som byggesteiner i ulike cellestrukturer og til hyfedannelsen. Det samme gjelder rester av cellemembraner, DNA og fosforrike makromolekyler som den får tak i. De forbindelsene soppen får energi fra omdannes til CO₂.

Disse soppene er essensielle for nedbryting av fiberrikt organisk materiale, ved at de kan omdanne stabile stoffer som cellulose og lignin. De produserer og skiller ut enzymer som bryter ned det organiske materialet ekstracellulært (utenfor soppens celler) og gjør det tilgjengelig for soppen. Gjennom disse prosessene, bidrar soppene til å gjøre noe næring plantetilgjengelig, samtidig som de bidrar til å øke jordas moldinnhold (humus). Det stabile organiske materialet i jorda (humus) er viktig for å holde på vann og næring, slik at jorda blir mer tørkesterk og næringsstoffer ikke så lett vaskes ut.

De viktige hvitråtesoppene

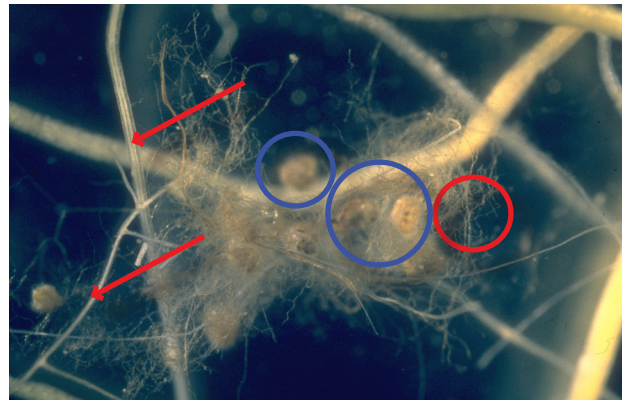
Hvitråtesopp er betegnelsen på en gruppe sopp som lever av organisk materiale. De etterlater seg en porøs hvitaktig masse når de omdanner fiberrikt organisk materiale. Derav navnet hvitråte. Mange av dem er essensielle for nedbryting av fiberrike materialer i skog, beiter og i pløyd jord. Der omdanner de mellom annet cellulose og

lignin som finnes i flis og ved, men som også fins i plantestilker, løv og i kornhalm. I skogsjord og i beitemark finner vi flere hattsopper (storsopper) som er hvitråtesopp, som for eksempel ridderhatter (*Lepista*), sjampinjonger (*Agaricus*), blekksopper (*Coprinus*) og røksopper (*Lycoperdaceae*). Blå ridderhatt er typisk på kompost laget av halmrik talle. Mange arter poresopp (kjuker) er også hvitråtesopp og lever på syke og døde trær. Hvit blekksopp er funnet i flerårig eng og i korn. I landbruksjord som jordarbeides finner vi også disse artene, men andre mindre synlige arter dominerer gjerne. Det er gjerne arter som tåler forstyrrelse og gjødsling bedre.

Det som er unikt for disse vednedbrytende soppene er at de kan utnytte store mengder karbohydrater (C), selv om det er veldig lite nitrogen (N) i materialet. De kan leve av materiale med særs høyt C:N-forhold. For å omdanne cellulosen generelt, og spesielt i karbonrikt materiale, er enzymet cellulase viktig. Hvitråtesopp kan produsere dette enzymet av materiale som har et C:N-forhold på 2000:1, mens hos de fleste andre soppene forsvinner denne evnen når C:N-forholdet er 200:1. Dette klarer hvitråtesoppene ved at de resirkulerer nitrogenet. Nok karbon finner de i selve det fiberrike materialet, mens de bryter ned kitinet i egne, gamle hyfer og bruker dette nitrogenet for å supplere det lave nitrogeninnholdet i substratet. Det er også påvist en rekke enzymer knyttet til omdanning av lignin, men det er fortsatt usikkert hvordan denne nedbrytingen foregår i detalj.

Positivt samliv med planter

En rekke sopper lever i et gjensidig nyttig samliv (symbiose) med planterøtter. De er så tett knyttet til hverandre at soppen sammen med planterøttene danner rot-sopp-strukturer som vi kaller for mykorrhiza eller sopprot. Soppen vokser da på, mellom eller inne i cellene i planterøttene, og har derfra forgreiningen langt ut i jorda (Fig.2, 3 og 4). Soppmycetlet kan til en viss grad beskytte røttene mot skadedyr og patogene organismer, og mycelet utvider plantens nettverk for næringsopptak. Soppen får karbohydrater direkte fra planten, mens planten kan nyte godt av næringsstoffer som soppen tar opp. Det kan finnes fra 20-50 meter med mykorrhiza-hyfer per gram kulturpåvirket jord, mens i skogsjord er det funnet ca 5000 m mycel pr gram jord.



Figur 2. Røtter med "ullaktig" mykorrhizasopp. De tykkeste grenene er røtter (piler), mens de tynneste grenene (ulne strukturene) fremst i bildet er sopphyfer (rød sirkel). De runde kulene (blå sirkler) er soppens sine formeringsenheter (sporer) som her er pakket inn i små sekker av hyfer. Foto: Theo Ruissen, Bioforsk Økologisk.



Figur 3. Sopprot hos gran. Rota til grana er hvitaktig og litt tykkere fordi soppen sammen med rota danner en struktur som kalles mykorrhiza (sopprot). Ektomykorrhiza er den typen som dannes på gran. Mycelet til ektomykorrhiza kan også være gult, rosa, eller svart som koks. Foto: Øystein Haugerud, FM Buskerud.

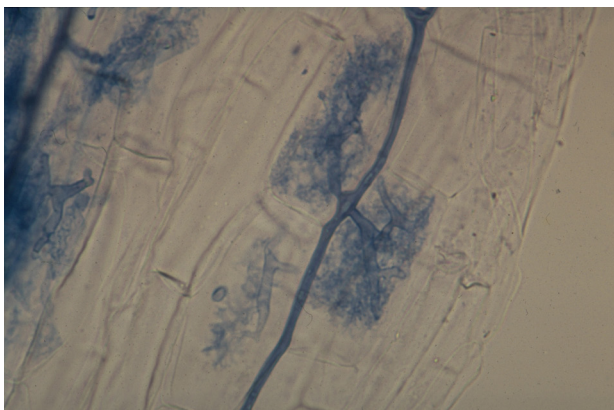
Tre typer mykorrhizasopp

Vi deler gjerne mykorrhizasopp i tre grupper: De som danner arbuskulær mykorrhiza inne i planterøttene (Fig.4) og ektomykorrhiza som vokser mer utenpå planterøttene (Fig.3), i tillegg har vi ericoid mykorrhiza som vokser sammen med lyngplanter. Arbuskulær mykorrhiza er vanlig i urteaktige planter, mens ektomykorrhiza er i Norge særlig vanlig på bjørk, eik og bøk og alle nåletrær. I tropiske områder finner vi ofte også arbuskulær mykorrhiza på trær. Arbuskulær mykorrhiza (AM) er den mest utbredte formen for mykorrhiza og er den som er vanlig hos mange av kulturplantene

og følgeplantene deres (ugras). AM danner små strukturer kalt arbuskler, og noen ganger vesikler, inne i planterotcellene. Vesikler er blæreformete strukturer og arbuskler er sterkt forgrenete, buskliknende strukturer (Fig. 4). I tillegg danner soppene lange hyfer utover i jorda og rundt røttene. Per i dag kjenner vi på verdensbasis til over hundre arter sopp som danner denne typen mykorrhiza. Utbredelsen i Norge er imidlertid lite kartlagt. Flesteparten av alle planter (ca 85 %), inkludert bregner og moser danner mykorrhiza. Unntak er grupper innen korsblomstfamilien (eks sennep, kål og brokkoli) og meldefamilien (eks. spinat og bete), samt mange arter av siv og starr. Arbuskulær mykorrhizasopp danner ikke synlige soppmatter. Det gjør derimot de fleste av ektomykorrhizasoppene, eksempelvis kantarell som danner sopprot med gran og andre trær. Totalt er det flere tusen sopparter som danner ektomykorrhiza.

Økt næringsopptak hos planter

Mykorrhiza står for en betydelig del av næringstransporten fra jord til planter. Soppen kan danne et enormt nettverk av hyfer som absorberer næringsstoffer og transporterer det rundt i hyfene og tilbake til planten. Soppen får karbohydrater direkte fra planten, mens planten kan nyte godt av næringsstoffer som soppen tar opp. Soppmycelet fungerer som en forlengelse av rotsystemet. Det kan til og med dannes et felles mycelnettverk mellom ulike planteslag. En rot som er aktiv i opptak av næring er ca 1 mm i diameter, mens mykorrhizaens soppmycel er hundre ganger tynnere; ca 5-10 mikrometer tykke (se Fig. 2.). Dette gjør at soppmycellet kan finne næring og vann der røttene ikke kommer til. At hyfene er så



Figur 4. Arbuskulær mykorrhiza (AM) er den mest vanlige typen mykorrhiza og finnes hos mange av kulturplantene våre. Her er soppen farget blå, og arbusklene ses tydelig som sterkt forgrenete strukturer inne i planterotceller hos hvete. Foto: Theo Ruissen, Bioforsk Økologisk.

tynne betyr også at det kreves mindre ressurser for å lage dem. Det kan dannes et stort og effektivt nettverk av hyfer ved å bruke bare ca tiendeparten av ressursene som planten hadde brukt på å danne samme nettverket av røtter. Det hevdes at en enkelt sopp kan danne 1 km med nye hyfer i løpet av 24 timer under optimale forhold. Soppene bidrar særlig til plantens fosforopptak og opptak av mikronæringsstoffer. Planten kan også ta opp vann gjennom mykorrhizasoppene.

Mykorrhiza har også andre gunstige effekter på planter som er mer indirekte. De kan øke plantens toleranse for tungmetaller og enkelte organiske miljøgifter, og de kan redusere angrep av visse typer patogene sopp og nematoder. En annen indirekte effekt er at planter med effektivt næringsopptak vokser raskere og konkurrerer bedre med planter som ikke danner mykorrhiza.

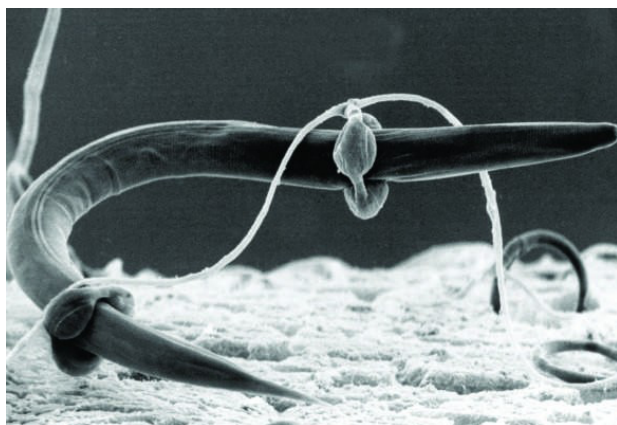
Nydanning av mykorrhiza

Ettårige vekster og mykorrhizasopp i jord må møtes i jorda for å danne mykorrhiza. Det kan være sporer som spirer eller levende hyfer som vokser ut fra levende eller døde røtter. En slik kilde til nykolonisering kalles gjerne en propagule. Antallet propaguler (levedyktige sporer og hyfebiter) per gram jord, indikerer jordas evne til å danne mykorrhiza hos nye vertsplanter. Tettheten av propaguler avhenger blant annet av hvilke plantearter som har vokst på stedet det eller de siste årene. Videre påvirkes antallet av intensiteten i gjødsling og jordarbeiding, og om det finnes sopphekkende stoffer i jorda. Forgrøde som danner mye mykorrhiza (belgvekster, løk, purre, lin m.fl) kombinert med lav fosforgjødsling og skånsom jordarbeiding, vil gi raskest og sterkest mykorrhizakolonisering på nye vekster.

Patogene sopper trives ikke alltid så bra

En del sopp som lever i jorda kan være årsak til plantesykdommer. De fleste slike plantepatogene sopper bruker jord og organisk materiale mer som en mellomstasjon. Selve oppblomstringen og formeringen skjer i eller på de levende plantene. De fleste patogene sopp har dårlig evne å konkurrere med andre aktive mikroorganismer i jorda. De slipper unna denne konkurransen gjennom å parasittere planter eller å danne overlevelsesstrukturer i jorda. Disse kan se ut som små kuler/klumper med tett pakket mycel (sklerotier) eller som hvilesporer med en ekstra tykk vegg rundt seg.

Det kan oppstå forhold i en vekstsesong som favoriserer plantepatogene sopper. For eksempel kan våte forhold i jorda gi gode vilkår for utvikling av rotbrann (Pythium-arter), helst på småplanter i spiringsfasen. Noen soppsykdommer kan favoriseres gjennom ensidig dyrking av en type kulturvekst. Det bygger seg opp store mengder med hvilesporer som de øvrige mikroorganismene ikke klarer å nøytralisere. Sopp som gir ertevisnesyke er eksempler på slike. Andre venter med å vokse til avlingen er høstet, til det på lageret blir mer gunstige forhold for den aktuelle soppen, eksempelvis fomaråte i potet. Jordboende, patogene sopp kan skape problemer i landbruket, men jord med høyt biologisk mangfold har vist seg å kunne begrense/undertrykke utbrudd av noen jordbundne soppsykdommer. Mekanismer som bidrar til dette er blant annet at stedege organismer i jorda utkonkurrerer patogene organismer i søken etter næring eller at de skiller ut antibiotiske stoffer.



Figur 5. Sopp som fanger en nematode i en løkke som vokser utfra sopphyfen. Løkken sveller raskt opp når nematoden kryper gjennom den og berører innsiden. Foto: G. Barron og N. Allin. *European Atlas of Soil Biodiversity*.

Fanger nematoder i snare

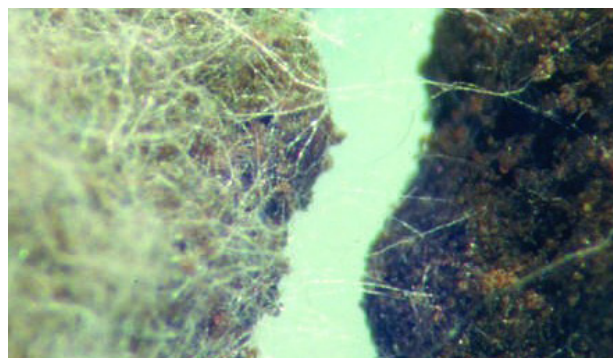
Blant de mest spesialiserte soppene, finner vi predatorsoppene. De har utviklet flere mekanismer for å fange små dyr i jorda. Eksempelvis skiller enkelte sopp ut stoff som bedøver nematoder, så vokser hyfene inn i dyret og fordøyer dem. Enkelte sopp fanger også protozoer, hjuldyr og nematoder ved å lage klebrige hyfer hvor dyrene setter seg fast. Mange arter lager ulike typer snarer som de fanger nematoder med (Fig. 5). De danner løkker på hyfene som sveller raskt opp og fanger nematoden.

Antibiosis og fungistasis

Blant jordlevende sopp er det mange som påvirker den biologiske aktiviteten i sitt nærmiljø. Dette kan skje ved at de produserer antibiotika eller ved at de går i en slags dvale. Antibiotiske stoffer kan hemme eller drepe både konkurrerende organismer og organismer som konkurrenten lever av. Denne mekanisme kalles antibiosis. Den andre av de to viktige reguleringsmekanismene blant jordlevende sopp er fungistasis. Her går soppen i dvale mens den venter på bedre tider. Den skrur ganske enkelt ned sitt aktivitetsnivå, og dermed sitt energibehov, til et svært lavt nivå uten å danne nye overlevelsesstrukturer. Dette er både en ressursbesparende og rask måte å reagere på når matfatet blir tomt.

Sopp som parasitter

Noen sopp lever av å parasitere andre sopparter. Eksempler på dette er *Verticillium biguttatum* som parasitterer på svartskurvsoppen (*Rhizoctonia solani*) på potet. En annen gruppe sopp som også er i fokus er *Trichoderma* spp. Flere arter *Trichoderma* er vanlig å finne i jord, men de finnes også på døende og i dødt plantemateriale. Noen *Trichoderma* arter har spesielle mekanismer for å parasitere, hemme eller ødelegge andres soppmycel. De kan vokse rundt og pakke inn patogene hyfer, og løse dem opp ved å skille ut enzymer, eksempelvis kitinase, som løser opp celleveggene i mycelet til soppen de angriper. De kan også produserer ulike stoffer som hemmer veksten av andre sopp. Disse egenskapene har medført at ulike isolater av *Trichoderma*, eksempelvis *T. harzianum* og *T. virens* har blitt brukt til biologisk regulering av ulike soppsykdommer hos planter. De finnes i enkelte kommersielle plantevernprodukter.



Figur 6. Sopp i jord er med å binde sammen jordpartikler. Bildet viser sopphyfer som vokser på hvert sitt jordaggregat, men som også vever og knytter de to aggregatene sammen. Foto: K. Ritz, *European Atlas of Soil Biodiversity*.

Bedrer jordstruktur

Sopphyfer, sammen mer røtter, roteksudater og andre stoffer som skilles ut i jorda av jordlivet, binder sammen jordpartikler til vannstabile (erosjonssikre) aggregater (Fig.6). Mellomrommene mellom disse gir så opphav til et stabilt nettverk av porer som både hjelper til å holde på mer vann, men også til å drenere bort overflødig vann.

Hvor finnes sopp?

Nedbrytersopp finnes overalt der det er organisk materiale i jorda og på jordoverflaten. Det kan være husdyrgjødsel, kompost, løv på bakken eller døde planterøtter nede i jorda. Som nedbrytere er sopp ofte dominerende i sur jord, mens bakterier og aktinobakterier trives bedre ved høyere pH, men skillelinjen er ikke skarp.

Mykorrhizasopp finnes i nær sagt i all jord. Soppene kan overleve i jorda i lange perioder, selv om de utsettes for mangel på næring og vann, eller frost og andre stressfaktorer. Dels overlever de ved å danne hvilesporer, som kan være levedyktige i mange år, eller de kan overleve som levende hyfer inni døde planterøtter. Noen ektomykorrhizasopp har også evnen til fungistasis, hvor den metabolske aktiviteten reguleres ned til et minimum. Likevel er det en helt klar tendens til at jo lengre tid det går uten at det vokser planter som danner mykorrhiza i en jord, jo lavere blir antallet overlevende propaguler.

Tilby et passende miljø

Det er mange ting som kan gjøres for å stimulere til mer sopp og til soppens positive funksjoner i jord. Soppen trenger bl.a. næring i form av organisk materiale, passende vertsplanter for mykorrhizasopp, og at man unngår store eller hyppige forstyrrelser. Jordarbeiding mens soppen vokser vil bryte opp hyfenettverket og kan sette soppens vekst tilbake. Bredspektrede biocider skaper mikrobielt kaos, og påvirker sterkt det funksjonelle biologiske nettverket i jorda. Ugrasmidler (herbicider) påvirker generelt ikke soppene direkte, men ugrasmidler kan fjerne noen plantetyper som f.eks. er verter for mykorrhizasopp. En liten mengde ugras kan derfor holde mykorrhizapopulasjonen ved like. Undersådde vekster eller fangvekster er likevel bedre i denne sammenheng, både fordi planteartene kan velges ut bevisst, og fordi de har andre gunstige effekter på jorda.

Bidrag

Dette informasjonsmateriellet er finansiert med midler fra Statens Landbruksforvaltning gjennom prosjektet «Økologisk Foregangsfylke Buskerud - jordkunnskap og jordstruktur» og med midler fra Bioforsk Økologisk. Takk også til Klaus Høiland, Universitetet i Oslo for innspill om hattsopper.

Litteratur og bilder

- European Atlas of Soil Biodiversity, http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity_atlas/
- Grøtta, Maud. 2008. Mykorrhiza - viktig for næringstilførselen. Økologisk landbruk nr. 1.
- Jenkins, A. 2005. «Soil fungi», NSW Department of Primary Industries, 2005, Australia. <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/biology/soil-biology-basics>
- Joner, Erik. 2008. Mykorrhiza og næringsopptak. <http://www.bioforsk.no/mykorrhiza>
- Raven, P.H., Evert R.F. og S.E. Eichhorn (Ed.) 2005. Biology of plants. W.H. Freeman and Company Publishers, NY.

Andre Bioforsk TEMA om livet i jorda:

- 2011 nr. 14 - Et yrende liv rundt planterøttene
 2011 nr. 15 - Spretthaler - jordas små kaniner
 2011 nr. 16 - Nematoder - sirkulering av næringsstoffer
 2011 nr. 17 - Jordlevende bakterier
 2011 nr. 19 - Protozoer - de minste «dyra» i jorda
 2011 nr. 20 - Kompostering
 2007 nr. 2 - Meitemark gir god jord
 2007 nr. 3 - Studer meitemark ved å grave jordprofil
 2007 nr. 4 - Artsbestemmelse av meitemark

BIOFORSK TEMA
 vol 6 nr 18
 ISBN: 978-82-17-00850-7
 ISSN 0809-8654

Fagredaktør:
 Atle Wibe
 Ansvarleg redaktør:
 Forskningsdirektør Nils Vagstad
 Forsidefoto:
 Theo Ruissen. Sopprot, se Fig.2

www.bioforsk.no