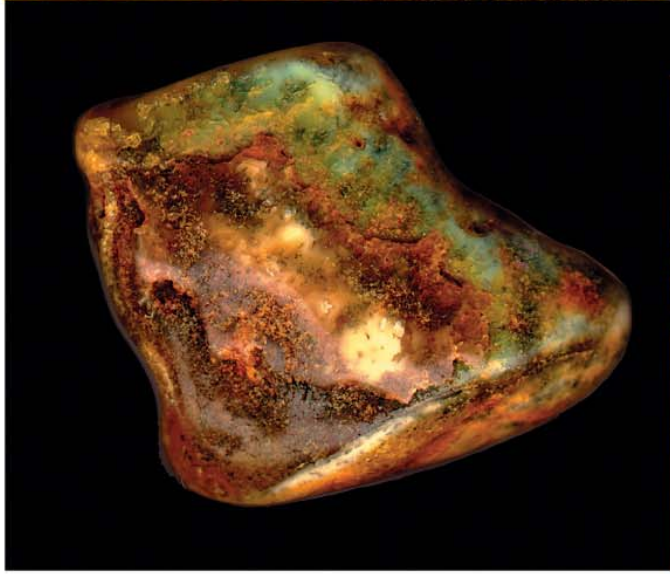
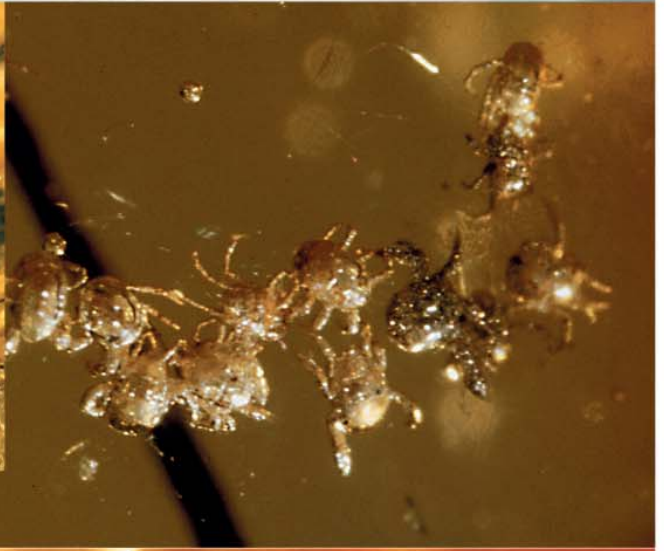


Geologisk Nytt

Særtryk: rav



Nordens Guld

- historien om baltisk rav

Af geolog Morten L. Hjuler, *GeologiskNyt*

Mennesket har kendt til rav i tusindvis af år og skattet det som smykkemateriale. For geologen åbenbarer rav en indre verden af ekstremt velbevaret, biologisk materiale fra længst svundne tider.

Langs Østersøens kyster og på sine steder længere inde i landet kan man finde det gyldne, baltiske rav – eller *Nordens Guld*, som det med god grund også kaldes, for ravets værdi som magtfaktor, statussymbol og handelsvare har været stor i tusindvis af år.

Rav er ikke kun begrænset til Østersøområdet, men findes over hele kloden og fra forskellige geologiske tidsperioder. Alligevel fremstår baltisk rav som den væsentligste forekomst; ikke kun fordi baltisk rav udgør 80% af jordens samlede ravressource, men også på grund af dets historiske og geologiske betydning.

Baltisk rav har den fremragende egenskab, at det er rigt på inklusioner af insekter, planterester, i sjældnere tilfælde bløddyr, og i ekstremt sjældne tilfælde indeholder det rester af hvirveldyr.

Sagnet om Phaeton og Heliaderne

Det siges, at solgudens søn, Phaeton, en gang fik sin fars tilladelse til at køre solen



En af Heliade-søstrene græder ravnårer over tabet af broderen Phaeton. (Grafik: Forfatteren)

Kopal fra Madagaskar kan være ekstremt rigt på inklusioner som den illustrerede højerestående flue (Calyptrata) med røde facetøjne. Alder: fra 50 til 4 mio. år. (Foto: Søren Bo Andersen & (Foto: Forfatteren)



hen over himlen. Men Phaeton tabte kontrollen med solvognens heste og kom for nær jorden, hvor solens varme satte skovene i brand, tørrede kilder ud og på anden vis tilførte menneskene ulykke. Zeus, den øverste af guderne, måtte gribe ind og slyngede sit lyn mod den ulykkelige Phaeton, som faldt død i floden Eridanos. Da Phaetons søstre, Heliaderne, fandt hans grav ved floden begræd de hans tab så bitterligt, at guderne af medlidenhed forvandlede dem til poppeltræer, og lige siden har deres tårer til stadighed dryppet fra træerne og ned i floden og er stivnet til rav.

De ældste overleveringer om rav

Det tragiske sagn om Phaeton og Heliaderne er beskrevet i Ovids *Metamorphoses* for omkring 2000 år siden og leverer en mindre plausibel forklaring på ravets oprindelse. Endnu længere tilbage omtales rav for første gang, nemlig i det gamle helte-epos *Odysseen*, som menes at være forfattet af Homer ca. 800 f.Kr.

De gamle grækere kaldte rav for solsten eller elektron på grund af dets elektriske egenskaber og værdsatte det på lige fod med sølv og guld. I gamle skrifter kan man læse, at ravet kom fra fjerne tågeindhyllede kyster højt mod nord, og det er vist, at græske og fønikiske handelsmænd foretog lange rejser nordpå i håbet om at finde ravets oprindelsessted.

Også hos de gamle romere var rav højt skattet. Amuletter, terninger og andre artefakter var forbeholdt de rige, hvilket fik

Plinius den Ældre til at beklage, at en lille ravstatuette af en mand var mere kostbar end en "levende og sund mand", hvormed han mente en slave.

Ravets historie i Danmark

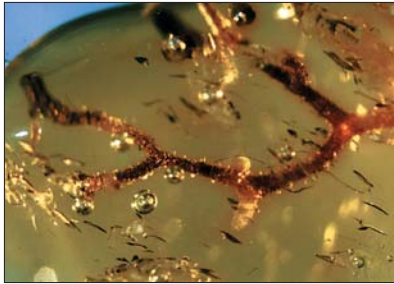
Noget af det ældste bearbejdede rav, man har kendskab til overhovedet stammer fra Vestsjælland; det er 9.000 år gammelt og tilhører dermed den ældste periode i Stenalderen, Palæolitikum.

I Stenalderen var rav populært i Danmark, og man kan i løbet af denne periode følge en udvikling i forarbejdningsteknikken. Ravsmykker blev betragtet som noget personligt og værdifuldt, hvorfor de hyppigt fulgte deres ejer i graven. I Bronzealderen aftager interessen for rav tilsyneladende; i hvert fald optræder det sjældnere, men i Jernalderen stiger ravets popularitet igen, og rav finder nye anvendelser, bl.a. som spillebrikker.

Ravindustrien i Østersøområdet

I 1283 satte riddere af den tyske orden sig på den preussiske trone og monopoliserede ravhandel. Ravhandelen blev styret med jernhånd, og ravindsamling var totalt forbudt; den, som vovede at samle rav fra stranden, betalte for forbrydelsen med sit liv. Ridderne indgik i et samarbejde med den tyske handelsorganisation, Hansa, og i de nordtyske Hansestæder fremstillede særlige ravslibere først og fremmest rosenkranse til katolikkerne.

Senere afskaffedes katolicismen i Nord-



Uidentificeret grenfragment fra baltisk rav. På fotoet ses også enkelte libeller, d.v.s. luftbobler med væskeindeslutninger. (Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)

og Vesteuropa, og efterspørgslen på rosenkranse dalede. Nye ravfrembringelser dukkede op i form af fint forarbejdede smykker, service, lystestager mm., og i bl.a. møbler benyttedes rav som indlæg. Ridernes magt blev med tiden udvandet, og monopolen overgik til en række ravlaug, men de hårde regler om ravets tilhørsforhold fortsatte under staten.

I 1713 lod Friedrich I den navnkundige ravsal opføre, et mesterværk inden for ravkunsten bestående af næsten 100.000 stykker rav, som Europas dygtigste håndværkere var 8 år om at bearbejde og arrangere i storslåede mosaikker. Ravsalen blev vidt berømt for sin skønhed, og Ruslands Zar Peter I var så begejstret, at han senere modtog ravsalen som gave. Ravsalen blev installeret i Vinterpaladset i Sct. Petersborg, og den forblev i russisk eje indtil 1944, hvor nazisterne beslaglagde den og bragte den til Kaliningrad. Her sås den sidste gang i 1945, inden den forsvandt på mystisk vis.

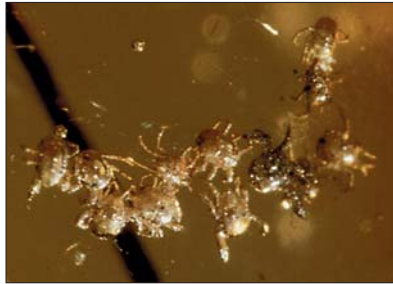
I dag er rav stadig umådeligt populært som smykkemateriale og til fremstilling af kunstgenstande, og menigmand bliver lykkeligtvis ikke længere henrettet for at samle det.

Rav har tillige opnået væsentlig betydning inden for palæontologien med sin uovertrufne evne til at bevare biologisk materiale for eftertiden. Og det er denne spændende egenskab resten af artiklen handler om.

Hvad er rav?

Ravets oprindelse var tidligere et mysterium og har op gennem historien givet anledning til en række fantasifulde teorier. Man har bl.a. forklaret rav som *galdesten*, kondenseret havskum, voks fra skovmyrer og tørret urin fra losser. En halvgeologisk forklaring postulerer, at rav er olie i fast form fra midten af Østersøen, og at ravets inklusioner fanges af olien i havoverfladen.

I dag ved vi, at rav er forstøvet harpiks fra enten nåletræer eller løvtræer. Harpiks er et organisk fluidum, som flyder under træets bark, hvor dets funktion er at udbedre de skader, træet pådrager sig, og beskytte mod svampe, bakterier og insekter. Selve processen, der ligger bag harpiksens transformation til rav, er endnu ikke fuldt forstået, men indeholder to faser.



En sværm af små mider (Acarini) endte deres dage i dette stykke baltiske rav; bagved anes en støvdrager. (Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)

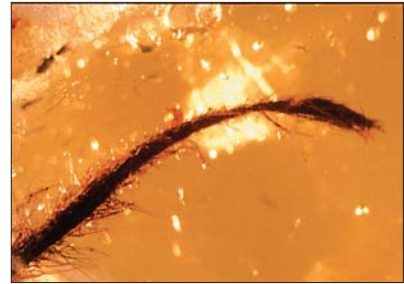
I den ene fase polymeriseres harpiksens molekylærstruktur, hvilket vil sige, at molekylerne, der før var frie og uforbundne, begynder at danne indbyrdes bindinger. Med andre ord bliver molekylærstrukturen ensartet og organiseret, og i løbet af polymeriseringsprocessen ændres den flydende harpiks til fast *kopal*. Kopal minder om rav, men indeholder de såkaldte terpenere, flygtige olier, som sidder indespærret i kopalen, og som er med til at give harpiks den karakteristiske, fyrreagtige, aromatiske duft. Denne omdannelsesproces kan tage tusindvis af år.

I den anden fase fordampes terperenerne fra kopalen, hvilket er en meget langsom proces. Det kan tage millioner af år, før størstedelen af terperenerne er fordampet, og slutproduktet endelig kan kaldes rav.

Hvis transformationen fra harpiks over kopal til rav skal lykkes, må hele processen finde sted i et anaerobt (iltfattigt) miljø, da fossiliserende harpiks er sårbar over for oxidation. Den oxiderede overflade på den fossiliserende harpiks bliver sprød og smuldrer let, og med tiden vil den korroderende effekt trænge gennem hele strukturen med fuldstændig opløsning til følge.

Baltisk rav

Baltisk rav har fået tildelt det videnskabelige navn *succinit* på grund af sit høje indhold af ravsyre (engelsk: succinic acid) med formlen $\text{COOH}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$. Ravsyreindholdet i baltisk rav varierer fra 3 til



Fragment af uidentificeret vækst, antageligvis en rod, i baltisk rav. (Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)

8 %, hvilket adskiller det fra de omkring 100 øvrige identificerede ravtyper, som med værdier fra 0-3 % har et væsentligt lavere ravsyreindhold.

Overordnet består baltisk rav kun af tre grundstoffer, nemlig kulstof (61-81 %), hydrogen (8,5-11 %) og ilt (ca. 15 %), men også mindre mængder svovl (op til 0,5 %). Eftersom baltisk rav ikke er et mineral med en veldefineret indre struktur, kan det ikke tildeles en fast kemisk formel, selv om der i tidens løb er publiceret adskillige forslag.

Baltisk rav er med en hårdhed på 2-2,5 på Mohs' hårdhedsskala et meget blødt materiale, som kan ridses med en negl.

Andre fossile harpikser

I Østersø-området findes adskillige andre ravtyper end succinit. Om disse gælder, at de stammer fra andre træslægter eller har været underkastet andre geokemiske processer end succinit. *Gedanit* (gul og gennemsigtig), *beckerit* (brun), *stantienit* (sort), *glessit* (rødgul) og *gedano-succinit* (minder om succinit) er et lille udvalg af disse former.

En anden stor og vigtig forekomst udgøres af det 20-30 mio. år gamle oligocæne-miocæne *dominikanske rav*. Kvaliteten, de fantastiske farvevariationer og ikke mindst de exceptionelt velbevarede og talrige inklusioner af bl.a. planter og insekter gør dominikansk rav mindst lige så attraktivt som baltisk rav. Dominikansk rav kom på alles læber, da Steven Spielberg i filmen



Biller (Colo-eoptera) er hyppige gæster i baltisk rav. Det viste eksemplar er en bladbille (Chrysomelidae). (Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)

“Jurassic Park” fra 1993 klonede en række mindre fredelige dinosaurer fra DNA ekstraheret fra mætte myg i domini-kansk rav.

Af andre lande med væsentlige ravforekomster kan nævnes Borneo, USA, Mexico, Canada og Japan.

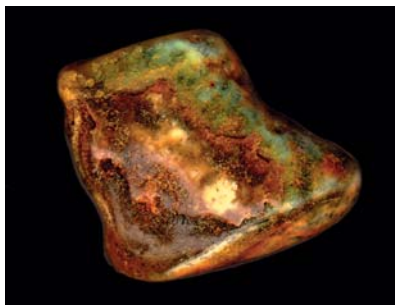
Kopal kendes bl.a. fra New Zealand, hvor det går under navnet *kauri gum*. I Afrika findes enorme mængder af kopal, som tidligere blev eksporteret til brug i lakfabrikation.

Ravskovene og ravets udbredelse

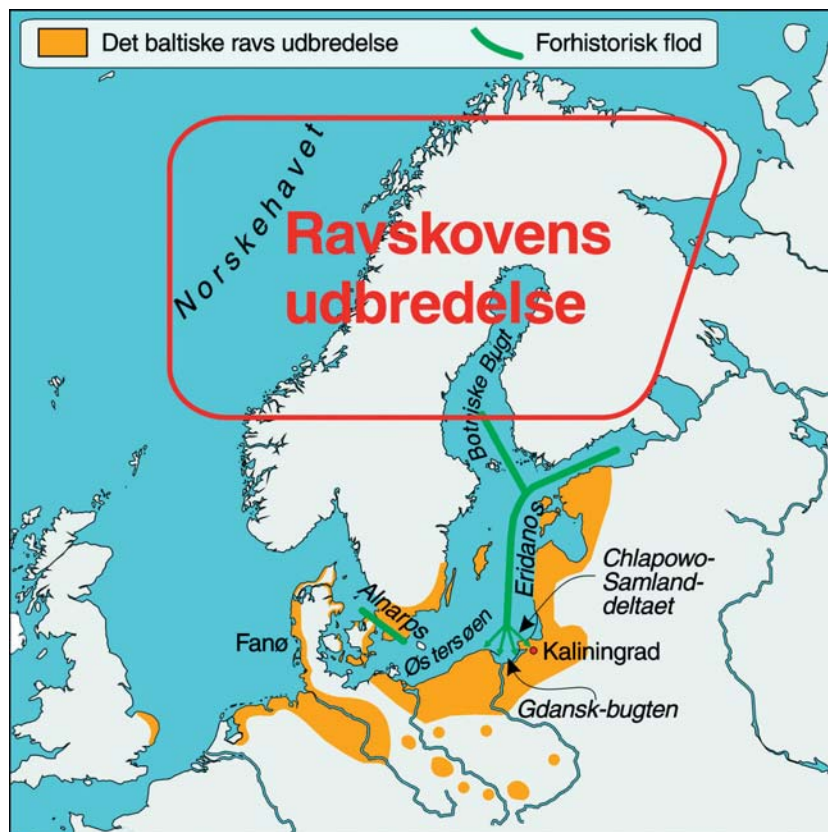
De enorme ravmængder i den baltiske region stammer fra vidt udstrakte ravskove beliggende først og fremmest i Nordskandinavien, men også i dele af Rusland, Østersøen og Norskehavet. I denne omfattende region har ravskovene i millioner af år produceret endeløse mængder af harpiks, som siden er transporteret sydpå. Som transportmedium er foreslået den forhistoriske flod *Alnarps* eller ravfloden, som kan spores i sydøstlig retning fra Nordsjælland til Ystad. En anden mulighed er floden *Eridanos*, hvis nord-sydforløb er identificeret fra den Botniske Bugt og Finske Bugt og via Østersøen til et stort deltaområde, *Chlapowo-Samland-deltaet*, i Gdansk-bugten ved Polen og Rusland. Hverken floderne eller deltaet eksisterer længere.

Det baltiske ravs primære aflejningsområde udgøres af Chlapowo-Samland-deltaet, hvor harpiksen fra ravskovene blev aflejret i Eocæn og Tidlig Oligocæn for 35-40 mio. år siden. Den aflejede harpiks blev inkorporeret i den såkaldte *Blauen Erde* (“den blå jord”), som udgøres af ca. 9 meter tykke, glimmerrige og lerholdige sandlag; sandlagenes blå farve er i virkeligheden grågrøn og skyldes glaukonit. Den blå jord findes i området omkring Gdansk-bugten og indeholder den væsentligste forekomst af baltisk rav. På Samland-halvøen, hvor også ravmetropolen Kaliningrad (tidligere Königsberg) befinder sig, er tilgængeligheden til disse blå jord-lag særligt god, og her udvindes 90 % af det baltiske rav.

At det baltiske ravs udbredelse omfatter et mange gange større område end Chlapowo-Samland-deltaet, skyldes den kvartære gletcheraktivitet. Gletcher- og smeltevandstransport har med udgangspunkt i deltaet omljret store mængder rav til fjernere egne i Polen, Hviderusland, Litauen,



Baltisk blårav. (Foto: Forfatteren)



Kort visende ravskovens udstrekning, ravets transport via floderne *Eridanos* og *Alnarps*, aflejningsområdet i Chlapowo-Samland-deltaet og endelig de landområder, hvor man i dag finder det baltiske rav. (Grafik: Forfatteren)

Letland, Tyskland og mod østligere egne som den engelske østkyst, Holland, den jyske vestkyst, sydlige danske kyststrækninger samt Skåne.

Ravet i Danmark er af gletcherisen og dens smeltevandfloder afsat i klinte og på havbunden i de såkaldte ravpindelag. Ved pålandsstørme gnaver havet i havbunden og i klinterne, hvorved ravpindelagene og ravet frigøres; denne proces er især hyppig ved Vesterhavet, som i århundreder har været kendt for sine store ravmængder, navnlig på strækningen fra Fanø til Nissum Bredning.

Den baltiske ravfyr

Man har siden 1853 ment, at baltisk rav stammer fra det nu uddøde nåletræ, *Pinites succinifera* (eller *Pinus succinifera*). Årsagen til, at nuclevende nåletræer ikke har været overvejende som en mulig kilde til baltisk rav, er, at man i disse nåletræer ikke har fundet den ravsyre, som er så karakteristisk for netop baltisk rav.

Imidlertid har man nu påvist tilstedeværelsen af ravsyre i to nuclevende fyrreslægter, *Keteleeria* og *Pseudolarix*. Det er interessant, at de økologiske systemer, hvor *Pseudolarix* findes i dag, modsvarer de økologiske systemer, som, inklusioner fra baltisk rav lader formode, eksisterede på ravskovens tid. *Pseudolarix* leverer derfor et godt bud på en mulig kilde til det baltiske rav, men det kan ikke udelukkes, at flere nåletræs-slægter har bidraget til ravproduktionen.

Hvordan harpiksen flyder

Nærmere studier af ravets opbygning vil ofte afsløre lagdelinger og strukturer, som indikerer, under hvilke forhold harpiksen størknede. I dagvarmen er harpiksen tyndt-flydende og bevæger sig med tyngdekraftens hjælp; om aftenen falder temperaturen, harpiksen bliver træg, og flydningen ophører helt eller delvist. I nattens løb udsættes den mere eller mindre fikserede harpiks-overflade for kontakt med luften, hvilket bevirker en ændring i overfladens fysiske og kemiske egenskaber, samt at overfladen bliver mørkere. Med dagens komme stiger temperaturen på ny, en ny harpiksstrøm flyder, og processen gentages. Denne cyklus kan stå på i dage- og i mange tilfælde månedsvis.

Ravets udformning kan undertiden føres tilbage til, hvor på træet harpiksen flød. *Rav-drypsten* er frithængende og fingerformede. Den indre drypstensstruktur kan bedst betragtes i et forstørret tværsnit af ravnrypstenen, hvor lyse koncentriske ringe af harpiks (afsat om dagen) veksler med tyndere, mørkere ringe af harpiks (ændret fysisk og kemisk om natten).

Stave minder om ravnrypsten, men er dannet af harpiks, som løb ned af stammen. *Plader* dannes af harpiks, som har siddet i sprækker i stammen.

Dråber optræder som afslutning på ravnrypsten og stave.

Lagdelt rav dannes af periodiske



Edderkop (Araneae) i baltisk rav. Edderkoppens kamp for at frigøre sig af den klæbrige harpiks ses som fine mønstre i det omgivende rav. (Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)

harpiksudsivninger, hvor hver udsivning når at størkne, inden den næste udsivning lægger sig oven på.

Plamager er det sammenpressede resultat af faldende ravnrypsten.

Farver og strukturer i rav

Ravets farve varierer inden for nuancerne gul, orange, rød, brun, og sort; undertiden ses grønne og blålige varianter. Undersøgelser af harpiks fra nulevende træer viser, at farven er afhængig af træslægten, men også aflejningsmiljø og inklusioner spiller en afgørende rolle for ravfarven.

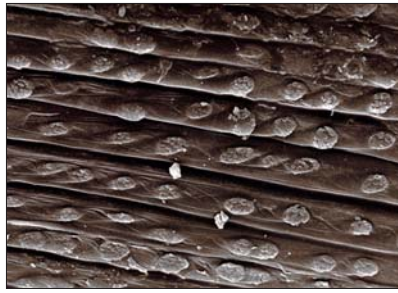
Luftbobler er en af de væsentligste transparens- og farvemodificerende faktorer i rav. Effekten bestemmes af luftboblernes hyppighed og størrelse. Klart rav indeholder kun få og store luftbobler; hvide "skyer" forårsages af mikroskopiske luftbobler, som er trukket ind i harpiksen under flydningen, og i helt hvidt, uigennemsigtigt rav kan densiteten af luftbobler være 900.000 pr. mm³. Store luftbobler er ofte tofasede (libeller), og med lup eller mikroskop kan man se en lille vandboble danse rundt i den større luftboble.

Rav tilbringer under transformationen fra harpiks til rav typisk tiden i reducerende miljøer med det resultat, at pyrit udfældes i de sprækker, som ravet måtte indeholde. Pyrittens tilstedeværelse medfører farveskift.

Spændinger i ravet forårsaget af insekters dødsdamp eller af luftbobler resulterer i, at lyset kan brydes i alle regnbuens farver.

Inklusioner i rav

Et af de mest fascinerende aspekter ved rav er inklusionerne, det vil normalt sige dyre- og plantefossilene, men inklusioner kan også udgøres af f.eks. sediment, luftblærer eller et andet stykke rav. Inklusionerne har til hver en tid fascineret og forundret mennesket og blev allerede for mere end 2300 år siden nævnt af Aristoteles. I dag har vi optiske redskaber og elektronmikroskopet til rådighed, som afslører selv de mindste detaljer på inklusionerne. Med hjælp fra elektronmikroskopet har man fra nærmeste hold bl.a. kunnet studere sammensatte øjne på myg, blodlegemer, edderkoppers spindekirtel og fine plantevævsstruk-



Eksempel på velbevaret vedstruktur udvundet fra baltisk rav og undersøgt i SEM. Fotoet viser aflange tracheider med ringporer. Billedudsnit: 180x135µm. (SEM-Foto:forfatteren)

turer, og selv enkelte celler kan undersøges.

Rav er det eneste fossilbevarende medium, hvor fossilets tredimensionelle form bevares, og samtidig tillader den flydende harpiks en uovertruffen bevaringsgrad af selv de mindste detaljer på fossilet. I modsætning hertil står fossilaftryk i sediment, hvor fladmasningen af fossilet reducerer antallet af karakteristika mærkbart, og hvor fossilets detaljeringsgrad er afhængigt af sedimentets kornstørrelse.

Især baltisk og dominikansk rav byder på en fossilrigdom, som muliggør detaljerede tolkninger af plante- og dyrelivet i datidens ravskove.

Plantelivet i den baltiske ravskov

På baggrund af inklusionerne i baltisk rav har det været muligt at genskabe et detaljeret billede af livet i ravskoven. Det, man hyppigst støder på, er små, delvist opløste plantevævsrester fra træer, som har været udsat for insekters borende aktivitet; når harpiksen strømmer til for at udbedre skaden, opluges plantevævsresterne under strømmingen. Genkendelige plantevævsrester stammer altid fra nåletræer og udgøres typisk af karstrukturer.

Andre taksonomisk bestemmelige plantedele fra nøgenfrøede og dækfrøede planter såsom blade, blomsterstande, kogler eller pollen er sjældnere, men har afsløret tilstedeværelsen af mere end 200 forskellige planteslægter i ravskoven. De hyp-



Myg (Nematocera) fanget i baltisk rav sammen med støvdrager fra en blomst. (Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)

pigste planterester tilhører fyr og eg, hvilket antyder, at den eocæne-tidligoligocæne skov var en fyrre- og egeblandingsskov.

Egens tilstedeværelse afsløres af de såkaldte stjernehår, som findes i overordentligt store mængder i ravet; stjernehårene er særegne for det baltiske rav og udgør en effektiv måde at skelne det fra alle andre ravtyper. Stjernehårene har siddet på nyudsprungne kviste og de mandlige blomsterstande, og de optræder ofte i sammenfiltrede grupper. Stjernehårenes store hyppighed antyder, at harpiksudsvedningen var et forårsfænomen.

I fyrre- og egeblandingsskoven voksede andre træer som tuja, cypresser og glyptostrobus samt - muligvis i udkanten - palmer, magnolia og kaneltræer. Underskoven har været domineret af græs og lyng. Floras sammensætning tyder på, at klimaet var tropisk-subtropisk, og at ravskoven voksede i bjergterræn.

Hvordan dyrene havner i harpiksen

Inklusioner af dyr er almindelige i baltisk rav, og millioner af fund har givet et godt indblik i navnligt insektlivet i ravskoven, men det er vigtigt at fastslå, at det faunistiske indtryk kun kan baseres på de fundne dyr. Nogle dyr er blevet lokket til harpiksen på grund af duften og farven, og andre er blevet blæst ind i den forræderiske, klæbrige masse af et vindstød. De større og stærkere dyr, som kom i kontakt med har-



Eksempel på relativt velbevarede vedstrukturer i baltisk rav. (Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)

piksen har haft en chance for at kæmpe sig fri og må formodes at udgøre en relativt mindre andel af dyreinklusionerne; det samme gælder dyr, som blev frastødt af ravduften, og eventuelt dyr, som ikke levede tæt på de ravproducerende træer.

Et hyppigt optrædende fænomen i rav er forstyrrelser i ravmassen rundt om dyreinklusioner. Forstyrrelserne minder typisk om et indre muslet brud og afspejler det fangede dyrs sidste desparate anstrengelser for at komme fri af harpiksen ved at "padle" med benene og bevæge kroppen rundt.

Dyrelivet i den baltiske ravskov

Faunaen domineres af insekterne, som udgør 93 % af dyreinklusionerne; resten er spindlere, tusindfodder og andre grupper af smådyr. Blandt insekterne tilhører omkring 70 % ordenen *Diptera* (tovingede insekter), og *diptera* udgøres hovedsageligt af myg, årevingede insekter, biller, vårfluer og næbmundede insekter (tæger og cikader).

Myrer er ret almindelige og udgør en

dyregruppe, som ikke har forandret sig væsentligt siden Eocæn og Oligocæn. Insekter som bier, hvepse, termitter, kakerlakker, sølvfisk og græshopper optræder jævnligt, og lidt mindre hyppigt ses guldsmede, fårekylinger og vandrede pinde. Til de sjældnere inklusioner hører edderkopper, tusindben, bænkebidere, pseudoskorpioner og skorpioner.

Inklusioner af orme og bløddyr såsom snegle er sjældne og hvirveldyrrester ekstremt sjældne, hvorfor denne del af faunaen kun er ringe kendt fra ravet. De få kendte spor efter hvirveldyr udgøres af fuglefjer, pattedyrshår og enkelte helt eller delvist komplette reptiler. Hvirveldyrenes størrelse og styrke har generelt været for stor til, at de kunne fastholdes af den klæbrige harpiks, men netop størrelsen har også muliggjort, at fodspor efter fugle og pattedyr er bevaret for eftertiden på ravets overside.

I meget heldige tilfælde kan ravet give os et indblik i den eocæne-oligocæne hverdag i ravskoven: Insekter fanget under par-



*Blad fra uidentificeret vækst i baltisk rav.
(Foto: Søren Bo Andersen & forfatteren)*

ring, edderkopper i gang med at spinde et net, og også insekter fanget i edderkoppens net. I andre tilfælde transporterer myrer et fanget tusindben, eller en myre fodrer en anden myre; man ser eksempler på insekter, som lider under parasitangreb, insekter, som lader sig transportere af større insekter, og en myg, som presser nogle af sine æg ud i harpiksen. ■