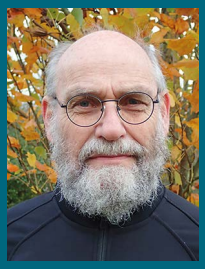
Moderne fisketrawlere kan hurtigt fange store mængder af fisk, og på den måde true ikke bare enkelte fiskearter, men også hele økosystemer med kollaps.
Foto. Shutterstock

OPLEVER VI EN MENNESKESKABT SJETTE MASSEUDDØEN?

Jordens geologiske lag bærer spor af mindst fem episoder af masseuddøen af arter i fortiden. Flere forskere mener, at mennesket har startet den sjette masseuddøen. Forfatterne ser i denne artikel nærmere på dokumentationen for den påstand.

Om forfatterne

Kaj Sand-Jensen er professor i ferskvandsøkologi ved Biologisk Institut, Københavns Universitet.
ksandjensen@bio.ku.dk



Peter Wiberg-Larsen er ph.d. i ferskvandsbiologi og emeritus fra Aarhus Universitet.
pwl@ecos.au.dk.

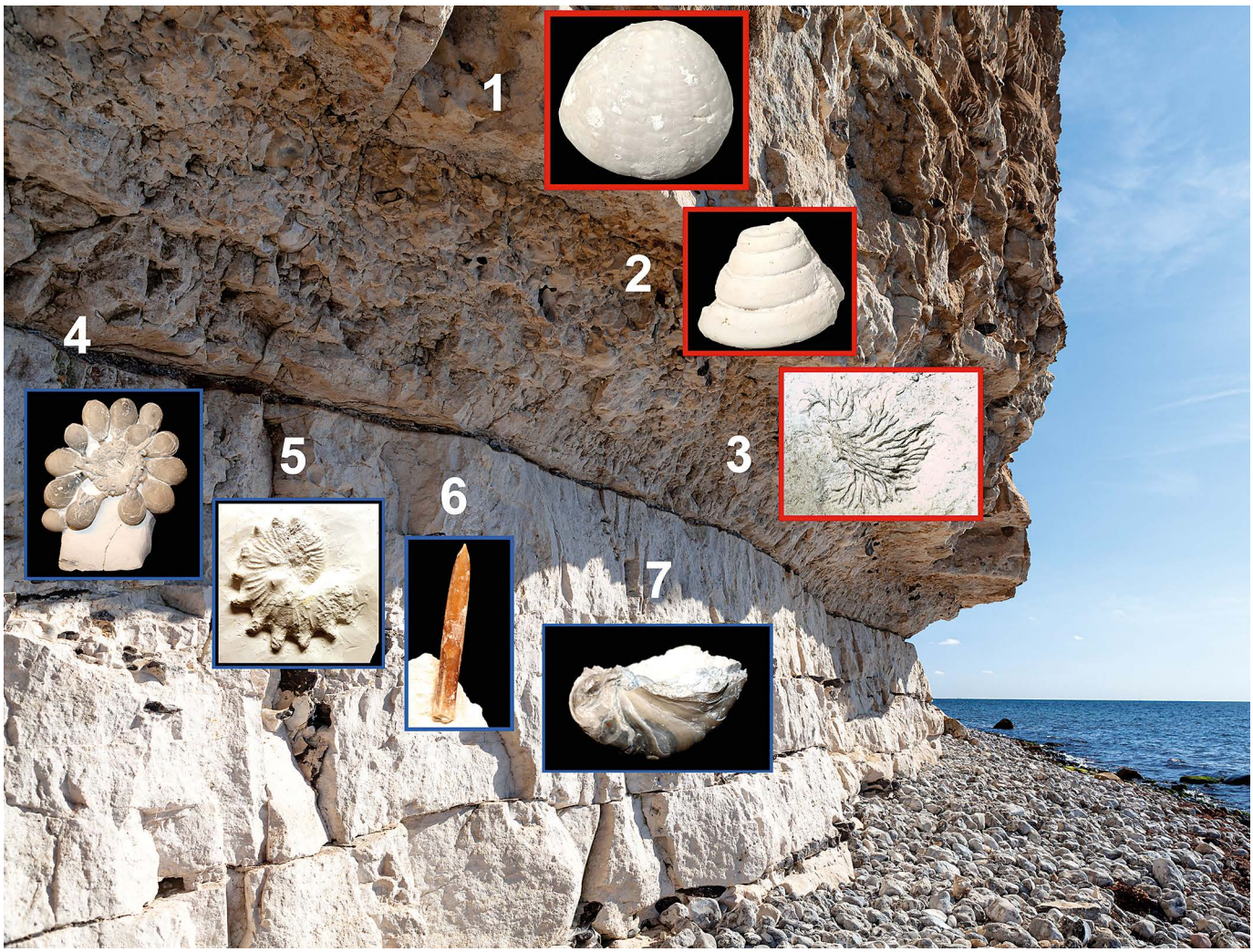
Tal for hvirveldyr og planter peger på, at arter typisk uddøde i et 100-200 gange højere tempo i 1900-tallet i forhold til baggrunden under rolige perioder i fortiden. Nordamerikanske og europæiske ferskvandsfisk uddøde endnu hurtigere. Med sådanne hastigheder vil 75% af disse ferskvandsfisk fremover kunne forsvinde på få tusinde år, hvilket kvalificerer til betegnelsen "en menneskeskabt masseuddøen". Ovenikøbet er der ikke levnet plads til natur, som kunne gøre det muligt for nye arter at dukke op til erstatning for dem, som forsvinder. I denne artikel ser vi nærmere på tallene for arters uddøen og konsekvenserne for fremtiden.

Arters uddøen under rolige perioder og katastrofer

Ingen arter lever evigt. Men under rolige perioder i Jordens udvikling uddøde de fleste arter ganske langsomt efter en gennemsnitlig levetid på mellem 0,7 og 7 millioner år. Inden arterne forsvandt, kunne de have givet ophav til modificerede afløsere, eller der opstod nye artstyper med markant anderledes tilpasninger og levevis. Det er så differensen mellem tempoet for artsdannelse og uddøen, der afgør om artsantallet stiger, er konstant eller falder.

Vores viden om den langsigtede artsdannelse og uddøen over årmillioner stammer især fra studier af døde dyr og planter, som sank til bunds i havområder og søer og blev bevaret som fossiler i klipper. Deres alder kan dateres med radioaktive isotoper. Andre fossiler findes i asfaltsumpe, mosetørv, rav og størknet mudder.

Smukkest tager udviklingen sig ud, når fossile arter forsvinder og nye arter dukker op i regelmæssige kronologiske lagserier. Særligt berømte er danske kalkklinter ved for eksempel Stevns, der dækker perioden fra slutningen af Kridttiden og ind i den efterfølgende



Stevns Klint med den berømte mørke horisont med lerlaget (kaldet fiskeleret på Stevns Klint), som skiller det underliggende, fine hvide lag fra Kridttiden fra det øvre, yngre lidt grovere lag fra Palæogen. Der skete markante ændringer i såvel mikroskopiske som de viste karakteristiske større fossiler i overgangen.

De viste fossiler fra Palæogen er: 1. Echinocorys (søpindsvin), 2. Leptomaria (snegl), 3. Cyclostomata (mosdyr), mens de ældre fossiler fra Kridttiden er: 4. Tylocidaris (søpindsvin), 5. Ammonit, 6. Belemnit, 7. Pycnodonte (musling).

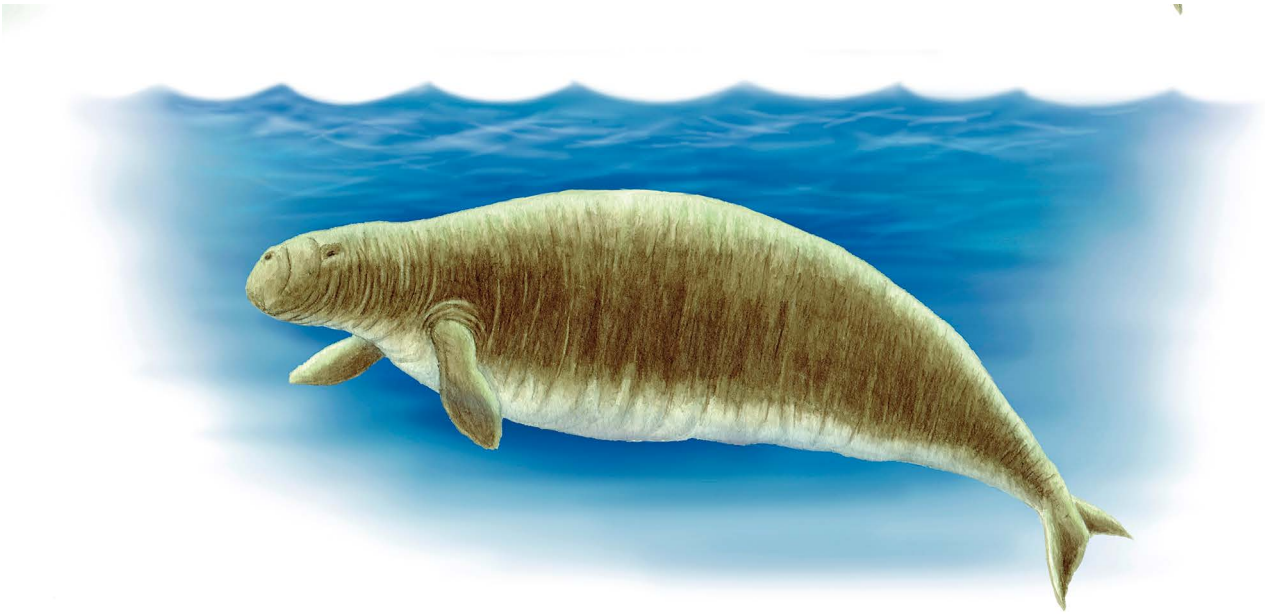
Foto af Stevns Klint: Michael Bille; fotos af fossiler: Jesper Milàn, Geomuseum Faxe.

Palæogen-tid. De marine mikroalger beklædt med fine kalkskaller, der dannede skrivekridtet i Kridttiden, sammen med de smådyr, der havde levet af dem, afløses efterhånden af nye arter i Palæogen-tiden.

Overgangen mellem de to tidsperioder skete brat og markeres af et fossilfattigt, mørkt lerlag, som findes i adskillige danske og udenlandske lokaliteter. Lerlaget har et stærkt forhøjet indhold af iridium, som er et sjældent grundstof på Jorden, men har et højt indhold i visse meteoritter. Ifølge teorien bragede en asteroide med en diameter på 10 km for 65,5 millioner år siden ind i Jorden ved det, der i dag er Yucatan-halvøen i Den Mexicanske Golf. Nedslaget udløste en verdensomspændende katastrofe, som formentlig var årsagen til den seneste af fem store globale episoder af masseuddøen i Jordens historie. Flere end 75 % af marine arter, der efterlader sig genkendelige fossiler, forsvandt på grænsen mellem Kridttiden og Palæogen-tiden, hvilket er definitionen på en masseuddøen.

Nedslaget af kæmpeasteroiden skete måske ovenikøbet på et kritisk tidspunkt i Jordens historie. For i de forudgående 0,3 millioner år havde den indiske landmasse bevæget sig over en stor aktiv vulkan, der havde forurenet atmosfæren med sod og gasser og sat Jordens økosystem under pres.

Tilsvarende analyser af lagserier fastlægger de fire tidligere perioder med masseuddøen af arter gennem Jordens seneste 550 millioner år. Ud over den femte masseuddøen, der afsluttede Kridttiden, så er de bedst undersøgte den tredje og allerstørste masseuddøen ved overgangen fra Perm til Triastiden for 252 millioner år siden, hvor man regner med at 70-95 procent af alle arter på Jorden uddøde, og en mindre masseuddøen ved overgangen fra Trias til Juratiden for 201 millioner år siden. De blev formentlig begge udløst af intensiv vulkansk



Tegning af Stellers søko, der tidligere levede langs kysterne i det nordlige Stillehav. Hovedet var lille, kroppen op til 9 meter og vægten voldsomme 8-10 tons. Da den blev opdaget i 1741, fandtes den kun ved Kommandør-øerne i Beringshavet. Bestanden var i aftagen, formodentlig fordi den havde hård konkurrence fra søpindsvin, der spiste samme føde som søkøerne (fastsiddende rød- og brunalger). Søpindsvinenes antal kontrolleres af havoddere, som blev nedlagt i stort antal på grund af deres værdifulde pels. Stellers søko var et nemt bytte for fangere og blev udryddet på bare 27 år.

aktivitet, der gradvist øgede mængden af drivhusgasserne CO_2 og CH_4 (methan) i atmosfæren, så Jordens temperatur steg med beregnede 4-10 grader, udløste omfattende skovbrande, jorderosion og ørkendannelse på land samt forsuring og iltvind i havet. På mange måder mindede omstændighederne ved forløbet om den nuværende globale udvikling.

Det er vanskeligere at vurdere hypotesen om den menneskeskabte sjette masseuddøen i nutiden, fordi der er et meget kortere tidsrum på højst hundreder eller få tusinde år til rådighed til at fastlægge forløbet for en proces, som man for de tidligere episoder af masseuddøen har data fra flere millioner år til at fastlægge. Vi beskriver derfor tidshorisonten for den igangværende masseuddøen ud fra de mest troværdige data.

Nutidens artsuddøen af hvirveldyr

Fra nyere tid findes velbeskrevne eksempler på, at mennesket på kort tid slagtede samtlige dronter på Mauritius, gejrfugle i Nordatlanten og Stellers søkøer i Stillehavet. Og der er fossile beviser på, at krybdyr, fugle, pattedyr og endog blødyr uddøde på oceaniske øer kort tid efter, at mennesket ankom og bosatte sig. Et kendt eksempel er de ikke-flyvedygtige kæmpefugles uddøen på New Zealand omkring 200 år efter maoriernes ankomst i det 12. århundrede. På Madagaskar uddøde syv arter af 150 kg tunge kæmpe-lemurer nogle hundrede år efter øens kolonisering.

Det er muligt at få overblik over især hvirveldyrs uddøen siden år 1500, som kan sammenlignes med fortiden. Dermed kan vi bedre svare på, om arterne faktisk uddør så hurtigt i nutiden, at 75% af dem kan forventes at forsvinde indenfor et kort åremål. Kendskabet til udbredelse og status for de få tusinde arter af pattedyr, fugle, krybdyr og padder er bedre end for de formodede tusindvis af planter samt millioner hvirvelløse smådyr, heriblandt utallige tropiske insekter, som endnu ikke er beskrevet og navngivet.

Hvis man ser på fossiler af hvirveldyr i de geologiske lag, så uddøde de i rolige perioder i fortiden i et tempo på omkring 1 art per 10.000 arter i løbet af 100 år. Det svarer til 1 art per 1 million arts-leveår, som forkortes til enheden 1 E/MSY (1 Extinction per Million-Species-Year). Tempoet af pattedyrs, fugles og padders uddøen efter år 1900 er omkring 100-250 E/MSY, eller 100-250 gange hurtigere end under rolige perioder i fortiden. Tempoet for arternes uddøen var omtrent halvt så stort i perioden 1500-1900 som efter 1900.

Hvor langt er vi fra masseuddøen af hvirveldyr?

Hvor hurtigt, arterne vil uddø i fremtiden, vides ikke. Men tempoet af uddøen vil potentielt kunne stige, da vi kan forvente fortsat indskrænkning af naturområder samt globale klimaændringer. De mest følsomme arter vil uddø først, mens mere hyppige og vidt udbredte arter vil klare sig længst. Men benytter vi tallene fra 1900-tallet og antager, at uddøen forløber som en fast andel af det altid eksisterende antal arter, betyder det, at et faldende antal arter vil uddø i takt med, at det samlede artstal reduceres over tid. Halveres artstallet på for eksempel 1000 år, så halveres denne resthalvdel til en fjerdedel i de næste 1000 år, så 75 % af arterne er forsvundet på 2000 år.

For værdier på 100-250 E/MSY vil 75 % uddøen indtræffe efter

omkring 5.400-13.600 år, hvilket målt med evolutionens og geologisk målestok er meget hurtigt. Åremålet for 50 % uddøen er det halve, 2.700-6.800 år. Fremskrivningen understreger, at den sjette masseuddøen for de nævnte hvirveldyr banker på, men endnu ikke er indtruffet.

Ferskvandsfisk med dyster prognose

Tallene for den faktiske uddøen af nordamerikanske ferskvandsfisk er markant højere (430 E/MSY), og her estimeres tidsrummet for 75 % artsuddøen til godt 3000 år. Kendskabet til ferskvandsfisk er stort i Nordamerika, hvor 57 af de 1200 arter uddøde i 1900-tallet, flest efter 1950. Små arter og såkaldte endemiske arter (dvs. med en meget begrænset udbredelse) blev hårdest ramt. Nordamerika omfatter Mexico, USA og Canada, og alle tre nationer mistede arter, Mexico flest. De uddøde arter var for eksempel begrænset til en enkelt sø i højlandet eller de øverste bække i et enkelt vandsystem. Men fiskerimæssigt vigtige arter i de store amerikanske søer forsvandt også. Årsagerne til artsuddøen varierer fra udtørring af søer og vandløb, over vandløbsregulering til intensivt fiskeri. I et enkelte tilfælde blev en art opdaget og navngivet samtidig med, at den blev erklæret for uddød.

Blandt Europas 525 hjemmehørende ferskvandsfisk uddøde 2,7 % i sidste århundrede (270 E/MSY). 37 % af arterne er desuden truede, og de fleste lever i et bælte omkring Middelhavet fra Spanien til Tyrkiet. Området er hårdt ramt af udtørring, sommertemperaturer over 40 °C og voldsomme skovbrande. Ferskvandsfiskene i Nordamerika og Europa ser derfor ind i en fremtid, hvor endnu flere arter risikerer at uddø i de nærmeste århundreder.

Uddøen af planter

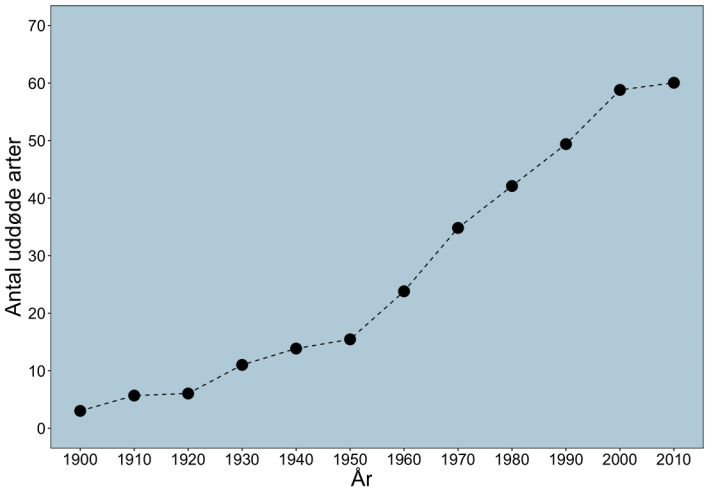
Plantearter lever gennemgående ti gange længere end dyrearter, og de uddør også i mindre grad under katastrofer. Alligevel er der sket markante skift i vegetationen, for eksempel fra dominans af nåletræer til blomsterplanter i troperne efter Kridttiden. Planternes større robusthed skyldes, at de har overlevelsesstadier i form af frø og sporer samt stængler og knolde i jorden. De kan endvidere formere sig vegetativt eller uden fremmedbestøvning. Og de kan ændre sig og blive mere robuste ved kromosomfordobling. Dobbelt så mange gener øger tilpasningsevnen til klimaændringer og mindsker risikoen for, at et vigtigt gen tilfældigvis helt forsvinder med tiden. De fleste hvirveldyr mangler derimod robuste overlevelsesstadier og må oprethol-

Forholdene ved arters uddøen før og nu

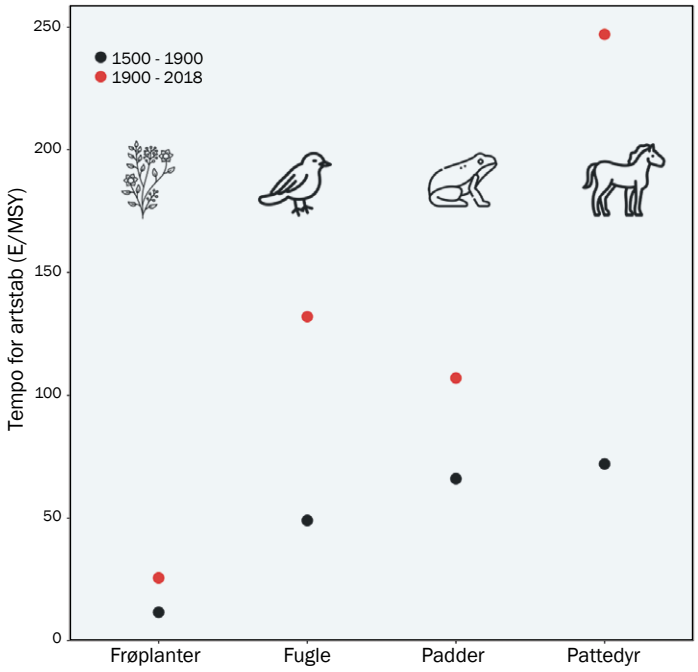
Forholdene ved arternes uddøen i nutiden minder om dem ved to tidligere katastrofer med masseuddøen i overgangene Perm-Trias og Trias-Jura for henholdsvis 252 og 201 millioner år siden. Men i dag er anderledes, da der sker og er sket massiv indskrænkning af naturarealer til marker, industri og bosættelse, som derfor ikke står til rådighed for arters overlevelse og nye arters opståen.

Udviklingen i atmosfæren, på kontinenterne og i havet er angivet i tabellen for en række forhold. Påvirkningerne er graduerede på en subjektiv skala fra 3: Meget stærk; 2: En del; 1: Lille; 0: Ingen. Hg er kviksølv, og PAH angiver polycykliske aromatiske kulbrinter, der dannes ved skovbrande, ufuldstændig forbrænding m.m. Efter især Fox (2022), Van de Schotbrugge, Wu et al. (2015) og Müller et al. (2023).

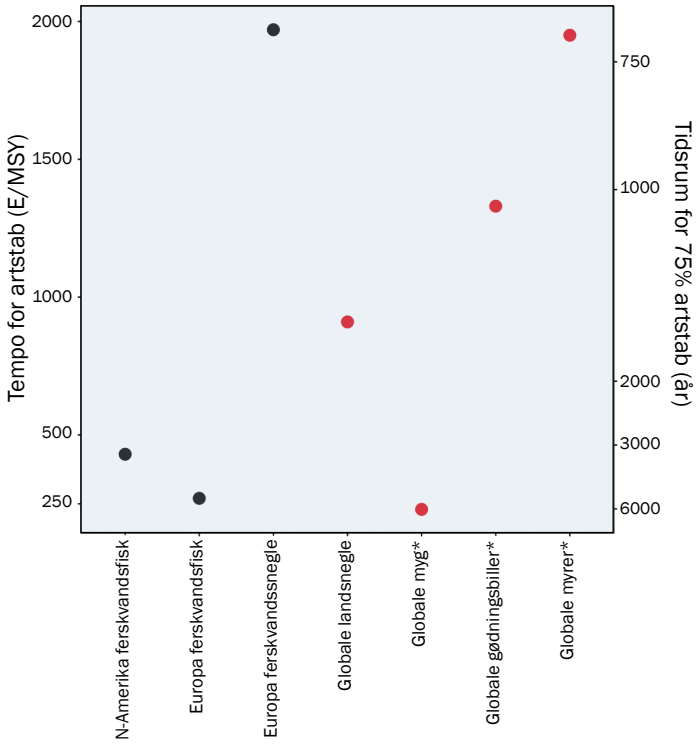
		Perm-Trias	Trias-Jura	Nutiden
Atmosfære	Sur nedbør	2	1	1
	Øget CO_2	3	3	3
	Øget Hg og PAH	3	2	1
	Øget metan	3	2	2
	Global opvarmning	3	3	3
Kontinenter	Skovbrande	3	3	2
	Skovdød	3	3	2
	Øget jordforvitring	3	3	2
	Naturindskrænkning	0	0	3
Havet	Forsuring	3	1	1
	Opvarmning	3	2	2
	Eutrofiering/iltsvind	3	3	3



Uddøen af nordamerikanske ferskvandsfisk op gennem 1900-tallet steg markant efter 1950. Efter Burkhead (2012).



Tempo for hvirveldyrs og frøplanters uddøen i perioderne 1500-1900 og 1900-2018. Værdien 1 E/MSY betegner 1 art uddød per 1 million arts-leveår. Uddøen under rolige perioder i fortiden var typisk 0,1 E/MSY for planter og ti gange højere 1 E/MSY for hvirveldyr. Efter Humphreys et al. (2019).



Tempo for uddøen af arter i de seneste 100 år (venstre y-akse) og tidsrum for uddøen af 75 % af arterne i fremtiden med uændret tempo (højre y-akse). Værdier for nordamerikanske og europæiske ferskvandsfisk, europæiske ferskvandssnegle og gennemsnit for alverdens landsnegle. *Den globale uddøen for myg, gødningsbiller og myrer er beregnet under den forudsætning, at primær tropisk skov forsvinder med uændret tempo og er væk om 225 år og omdannet til sekundær opvækst og spredte skovrester.

Data fra bl.a. Burkhead (2012), Neubauer et al. (2015), Régnier et al. (2015), Giam (2017), Cowie et al. (2022).

de kønnet formering med samme antal kromosomer.

Træer og vedplanter er uddøde i højere tempo end urter i de seneste århundreder. Urterne overlever sandsynligvis bedre, fordi de gennemgående har bestande med mange flere individer og en kort livscyklus, som gør det muligt bedre at tilpasse sig et miljø under forandring. De få publicerede værdier for tropiske planters artsuddøen (1,2-37,5 E/MSY) svarer til en gennemsnitlig artslevetid på 18,5-580 tusinde år, som er mindst ti gange kortere end under stabile perioder i fortiden.

Snegle og insekter uddør også

Snegle på land og i ferskvand har let kendelige kalkskaller, der let bevares som fossiler. Skæbnen for 200 tilfældigt udvalgte landlevende sneglearter kunne omhyggeligt undersøges med data fra museer, artikler og eksperter. For 108 arter med tilstrækkelig god dokumentation var 20 uddøde. Det indebar et højt tempo for artsuddøen (cirka 1620 E/MSY) og et kort tidsrum på minimum 860 år for 75 % artsuddøen. En tilsvarende hurtig uddøen er beregnet for europæiske ferskvandssnegle i 1900-tallet. De uddøde angiveligt 1000 gange hurtigere end arter ved slutningen af Kridttiden og omkring 10.000 gange hurtigere end under rolige perioder i fortiden. Ferskvandssneglenes problemer skyldes, som for ferskvandsfiskene, ødelæggelse af deres levesteder ved udtørring, vandløbsudretning, forurening og temperaturstigning.

Insekter er den mest artsrige organismegruppe overhovedet. Godt 1 million arter er navngivet, men sandsynligvis findes der 2-10 millioner unavngivne arter. Insekterne oplevede et markant artstab, da meteoritten ramte Mexico. Insektangreb på fossile blade fra Mexico "dykkede" således i flere millioner år derefter, mens insektangreb på fossile blade fra Sydamerikas sydspids hurtigere kom tilbage på

niveauet fra før katastrofen. I de efterfølgende årmillioner steg insekternes artsantal voldsomt frem mod nutiden i takt med blomsterplanternes opblomstring.

Langt de fleste insektarter lever i tropiske skove, og mange af dem risikerer at forsvinde og ende i de ukendtes grav, når primær tropeskov fældes og omdannes til sekundær ny trævækst og skovrester eller bliver til plantager og marker. Med stigende global opvarmning risikerer træerne endog at visne, så der opstår savanne. Den beregnede indskrænkning af det globale artstal af insekter forudsætter, at al primær tropisk skov omdannes til sekundær skov eller skovrester i løbet af de kommende 225 år. Det er udsigten, hvis indskrænkningen af uforstyrret primær skov fortsætter med uændret hastighed. Konsekvensen varierer fra 5 % globalt artstab for stikmyg, over 30 % for gødningsbiller til 44 % for myrer i løbet af de 225 år. Tempoet for insekternes globale artsuddøen på grund af reduktionen af primær tropisk skov (229 til 1947 E/MSY) er meget større end tempoet under uforstyrrede perioder (0,1 E/MSY). Og det vil gå endnu hurtigere, hvis tropeskoven omdannes til marker eller plantager. Oveni indskrænkes insekterne i landbrugsprægede lande som Danmark pga. habitatreduktion og -fragmentering.

Hvad kan vi gøre?

Mennesket har skabt begyndelsen til en masseuddøen af arter! De viste beregninger støtter denne vurdering, selv om det dokumenterede antal uddøde arter i nutiden ikke har nået et omfang på 75 %. Men læg til, at langt de fleste arter falder i hyppighed og udbredelse, så arter på rødlister for trusselsgraden forskydes mod de alvorligste kategorier: truede, kritisk truede og ultimativt uddøde. Endvidere indskrænkes naturarealet mere og mere, og meget få procent af landjorden og havet er efterhånden upåvirkede af mennesker. Tonsvis af studier dokumenterer, at fortsat indskrænkning af naturareal endegyldigt vil reducere artstallet meget voldsomt. Der er røde tal på bundlinjen.

Hvad kan vi gøre herhjemme? Jo, vi kan tilbyde arterne bedre muligheder ved at give mere plads til natur ved at nedlægge dyrkede arealer og reducere den voldsomme forurening med næringsstoffer og pesticider. Private haveejere kan nedlægge "sterile" græs- og flisearealer til fordel for artsrige nye levesteder. Med det fremtidige varmere klima bør vi kunne tilbyde plads og overlevelse til en del af de arter, som er tvunget til at flytte mod nord bort fra de overophedede Middelhavslande. Det vil gavne nogle arter, men de mange endemiske arter i det sydlige Europa har en lille chance for at flytte sig nordpå og vil sandsynligvis forsvinde for altid i løbet af få årtier. ■

Instrilandbrugets store marker med monokulturer er reelt en ørken for dyrelivet. Der er ikke meget at komme efter for en sulten agerhøne. Foto. Shutterstock

Insekttab på grund af intensivt landbrug

Med industrilandbrugets stadigt mere intensive drift i form af kæmpemarker, fjernelse af levende hegn og smådamme, intensiv brug af gødning og pesticider er der sket en sterilisering af det åbne land for planter, insekter og insektspisende småfugle. I det intensivt dyrkede England gik bier, sommerfugle og natsværmere markant tilbage, mens ændringerne var ubetydelige i det mindre påvirkede Skotland. Sydvest for Løkken reduceredes insektmængde og ynglesucces af svaler parallelt. I Østdanmark oplevede 22 arter blandt ikke-almindelige dagsommerfugle fra 1993 til 2019 en indskrænkning fra 565 til 158 bestande; 3 arter forsvandt.

Mens reduktionen af fåtallige, specialiserede insekter over tid således er ret entydige, er den samlede biomasse af flyvende insekter påvirket komplekst af belastningen med næringsstoffer og pesticider og ikke mindst ændringer af vejrforholdene og ekstreme vejrhændelser.

Billedet er altså det samme overalt i lande med intensivt landbrug: indskrænkning af levesteder, færre blomster som foder- og nektarkilde på grund af næringsstoftilførsel fra luften samt pesticidpåvirkning, der påvirker følsomme insekter, som det især er påvist for bier. Resultatet er at insekterne direkte eller indirekte bliver udryddet.

Kilder

Brühl CA et al. 2021. Direct pesticide exposure of insects in nature conservation areas in Germany. *Scientific Reports* 11: 24144.

Burkhead NM 2012. Extinction rates in North American freshwater fishes, 1900-2010. *BioScience* 62: 798-808.

Cowie RH et al. 2022. The sixth mass extinction: fact, fiction or speculation. Biological Reviews 97: 640-663.

Fox CP et al. 2022. Flame out! End-Triassic mass extinction polycyclic aromatic hydrocarbons reflect more than just fire. *Earth and Planetary Science Letters* 584, 117418.

Giam X 2017. Global biodiversity loss from tropical deforestation. *PNAS* 114: 5775-5777.

Humphreys AM et al. 2019. Global dataset shows geography and life form predict modern plant extinction and rediscovery. *Nature Ecology and Evolution* 3: 1043-1047.

Müller J et al. 2023. Weather explains the decline and rise of insect biomoass over 34 years. Nature: doi.org/10.1038/s41586-023-06402-z

Neubauer TA et al. 2021. Currrent extinction rate in European freshwater gastropods greatly exceeds that of the late Cretaceous mass extinction. *Communications Earth & Environment* 2,97.

Pitman NCA et al. 2002. Extinction-rate estimates for a modern neotropical flora. *Conservation Biology* 16: 1427-1431.

Régnier C et al. 2015. Mass extinction in poorly known taxa. PNAS 112: 7761-7166.

Van de Schotbrugge & Wignall PB 2015. A tale of two extinctions converging end-Permian and end-Triassic scenarios. *Geological Magazine*.

Wu Y et al. 2021. Six-fold increase of atmospheric pCO_2 during the Permian-Triassic mass extinction. *Nature Communications* 12, 2137.