

DA EUROPA BLEV KOLONISERET

Panoramaudsigt over stenbruddet ved Korolevo. Til højre ses Tiszafloden.
Foto: Roman Garba



Om forfatteren

Mads Faurischou Knudsen er professor ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet. Hans forskning er centreret om Jordens klimasystem samt menneskets tidlige udviklingshistorie. Mads Faurischou Knudsen primære videnskabelige værktøj er kosmogene isotoper, som blandt andet kan bruges til at datere vigtige arkæologiske fund og klimatiske begivenheder i Jordens historie.

I det nye studium omtalt i denne artikel er alderen på stenredskaberne fra Korolevo i det vestlige Ukraine beregnet ved brug af en computermodel, som Mads Faurischou Knudsen har udviklet sammen med en tidligere ph.d.-studerende.

mfk@geo.au.dk

Dateringer af jordlag med primitive stenredskaber i det vestlige Ukraine viser, at menneskeslægten – sandsynligvis i form af arten *Homo erectus* – var til stede i Europa allerede for 1,4 millioner år siden. Det kaster nyt lys over menneskets kolonisering af det europæiske kontinent.

Hvornår kom de første mennesker til Europa, og hvor kom de fra? Svarene på disse spørgsmål har længe stået hen i det dunkle. Men nu har et nyt internationalt studie fra Korolevo i Vestukraine kastet lys over sagen. Studiet, der er publiceret i tidsskriftet *Nature*, viser, at forhistoriske mennesker var til stede i det vestlige Ukraine allerede for 1,4 millioner år siden.

Denne nye viden skyldes, at det er lykkedes os at bestemme alderen på nogle primitive stenredskaber, der er fundet i Vestukraine og som menes at repræsentere et af de ældste spor af *Homo*-slægten i Europa – altså af mennesker, der er nært beslægtet med det moderne menneske *Homo Sapiens*. At vi nu har en præcis alder på disse stenredskaber, giver os en bedre forståelse af, hvor de første europæere kom fra og måske også, hvorfor de kom til Europa for 1,4 millioner år siden.

Stråling fra rummet hjælper forskningen

Sporene efter forhistoriske mennesker ved Korolevo blev først opdaget af den ukrainske arkæolog V.N. Gladilin under udgravningen af et stenbrud i 1974. Her fandt holdet af arkæologer flere lag med forskellige typer stenredskaber, der vidnede om, at der havde været mennesker til stede i området gennem mange hundrede tusinde år. Nederst, begravet under flere lag af flodsedimenter og vindblæst støv, fandt arkæologerne nogle meget primitive stenredskaber, der minder om de første kendte stenredskaber fra Afrika, også kendt som Mode-1 eller "Oldowan"-stenredskaber. Men at datere disse primitive stenredskaber var ikke en let opgave, og de første forsøg på at gøre dette gav modstridende resultater, der var umulige at reproducere.

Netop menneskets tidlige udviklingshistorie har længe været en udfordring for forskere at få styr på, fordi de fleste relevante daterings-

metoder ikke rækker langt nok tilbage i tid. Med carbon-14-metoden er det for eksempel kun muligt at datere organisk materiale, der er yngre end cirka 50.000 år. Og med den såkaldte luminiscens-metode, der kan bestemme, hvornår et sediment sidst har været udsat for lys, kan man typisk nå cirka 300.000 år tilbage i tiden.

Men igennem de seneste 10-15 år er der udviklet en ny metode, der gør det muligt at datere sedimenter og stenredskaber, der er op til 5 millioner år gamle. Denne metode benytter isotoper af beryllium og aluminium, som dannes, når kosmisk stråling bombarderer geologiske materialer ved Jordens overflade.

Det er denne metode, vi har brugt i det nye studium til at datere det lag, der indeholder de gamle stenredskaber. Til dateringen brugte vi en computermodel (P-PINI), der er udviklet ved Institut for Geoscience på Aarhus Universitet. Når vi fodrer



Figur efter Garba, R. et al (2024), Kort: Shutterstock.

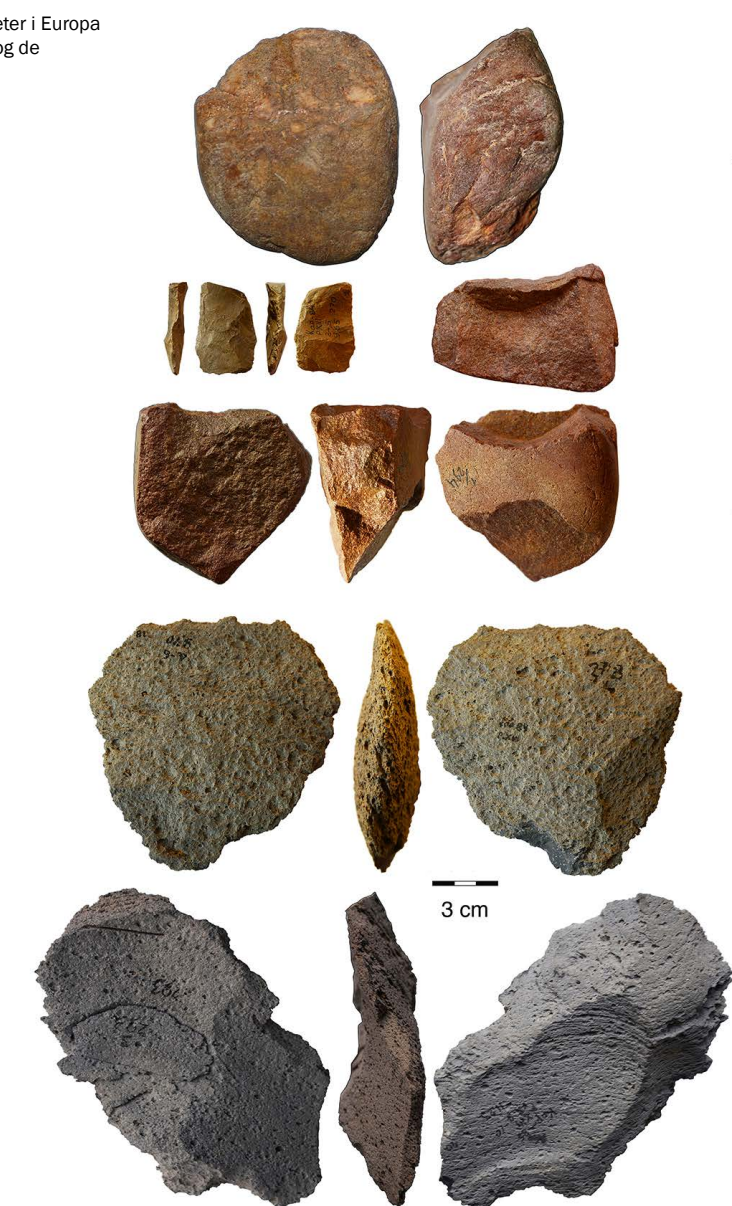
Kortet viser de kendte arkæologiske lokaliteter i Europa med de ældste fund af spor af mennesker og de sandsynlige indvandringsruter fra Afrika.

computermodellen med data om indholdet af isotoper (mere konkret ^{10}Be og ^{26}Al) i laget med stenredskaber, giver det en alder på $1,42 \pm 0,10$ millioner år.

Den klimatiske flaskehals

En udbredt hypotese går på, at mennesket først koloniserede Europa for 0,9 millioner år siden, hvor istiderne og mellemistiderne blev længere og kraftigere – en overgang der på fagsproget kaldes den Midt-Pleistocæne Revolution. På dette tidspunkt skiftede rytmen mellem istider og mellemistider fra en cyklus på cirka 41.000 år til en cyklus på cirka 100.000 år.

De korte mellemistider før dette skift har været betragtet som en flaskehals for koloniseringen af Europa, fordi de varme perioder var for korte og klimaet for koldt og tørt. Hypotesen var derfor, at mennesket først befolkede Sydeuropa sammen med store planteædende dyr fra Asien og Afrika, da klimaet blev for tørt her, mens det blev varmere og fugtigere



Udvalgte eksempler på stenredskaber fra Korolevo fundet i det lag (lag VII), som nu er blevet bestemt til at være $1,42 \pm 0,10$ millioner år gammelt. Disse stenredskaber minder om de første kendte stenredskaber fra Afrika, også kendt som Mode-1 eller "Oldowan"-stenredskaber. Figur efter Garba, R. et al (2024).

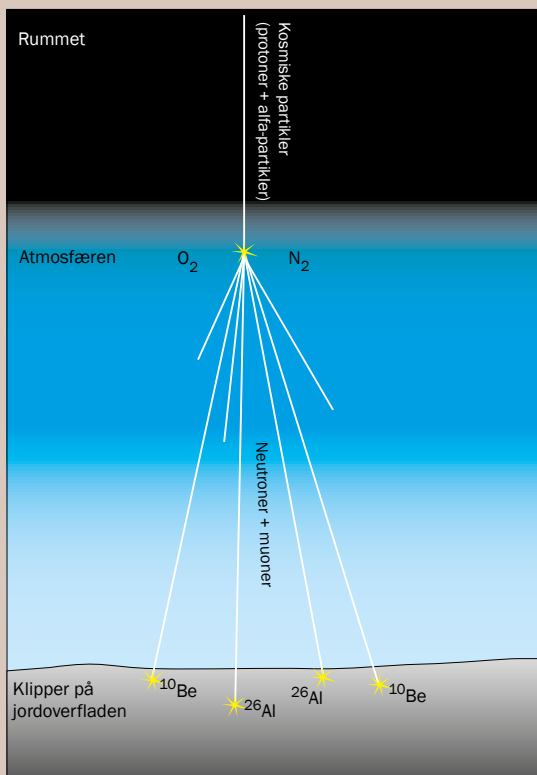
Datering med kosmogene isotoper

Kosmogene isotoper dannes, når kosmisk stråling bombarderer geologiske materialer ved Jordens overflade. Den kosmiske stråling består af partikler (hovedsageligt protoner og alfapartikler), der slynges ud i rummet, når en stjerne eksploderer i en såkaldt supernova. Når den kosmiske stråling trænger ind i Jordens atmosfære, støder den sammen med oxygen- og nitrogenmolekyler, hvilket skaber en sekundær kaskade af partikler, herunder neutroner og muoner med meget høj energi. Disse neutroner og muoner fortsætter mod Jordens overflade, og når de trænger ind i mineraler og bjergarter, dannes der nogle meget sjældne isotoper – de såkaldte kosmogene isotoper. Ved at måle koncentrationen af kosmogene isotoper i et mineral, er det muligt at bestemme, hvor lang tid bjergarten har været eksponeret ved Jordens overflade. Typisk måler man forekomsten af den kosmogene isotop beryllium-10 (^{10}Be) i mineralet kvarts, fordi produktionsraten af ^{10}Be i kvarts er velbestemt, og fordi ^{10}Be kun dannes på denne måde i geologiske materialer.

Man kan også bruge kosmogene isotoper til at datere, hvornår et geologisk materiale sidst blev afskærmet fra stråling ved overfladen, fordi der har lagt sig nye materialer ovenpå såsom iskapper eller sedimenter. Til det formål indsamler man typisk en prøve, der er begravet under overliggende sedimenter. Derefter udnytter man de kendsgerninger, at:

- 1) produktionsforholdet mellem to forskellige kosmogene isotoper er kendt, 2) produktionen af kosmogene isotoper stopper, når prøve-materialet dækkes til, samt at 3) koncentrationerne falder over tid, fordi isotoperne er radioaktive.

Ved at måle forholdet mellem to kosmogene isotoper med forskellige henfaldstider kan man derfor i princippet "måle" den tid, der er gået, siden prøven blev afskærmet fra strålingen ved overfladen. I denne forbindelse måler man typisk koncentrationen af ^{10}Be og ^{26}Al (også i kvarts), som har halveringstider på henholdsvis 1,4 (^{10}Be) og 0,7 (^{26}Al) millioner år. Det er denne anvendelse af kosmogene isotoper, der har åbnet nye muligheder for at datere menneskets tidlige udviklingshistorie.



Datering med kosmogene isotoper er et relativt nyt værktøj, og metoden til at datere begravede sedimenter er ikke mere end 10-15 år gammel. Metoden er derfor stadig under udvikling, fordi flere faktorer bevirker, at det ikke er nok at kende forholdet mellem ^{10}Be og ^{26}Al i en prøve til at datere den. Vi ved for eksempel ikke, hvor prøverne kom fra, før de blev begravet, og vi ved heller ikke, hvor hurtigt de blev begravet. Disse faktorer påvirker forholdet mellem ^{10}Be og ^{26}Al og dermed den alder, man beregner.

Ved Institut for Geoscience på Aarhus Universitet har vi udviklet en probabilistisk model, der tager højde for disse udfordringer ved at simulere millioner af mulige scenarier for prøvernes historie før og efter, de blev begravet. Modellen hedder P-PINI (Particle Pathway Inversion of Nuclide Inventories), og det er denne model, vi har anvendt til at datere stenredskaberne fra Korolevo i det vestlige Ukraine.

i Europa, hvilket gjorde at mennesker og dyr søgte nye græsgange mod nord. De hidtil ældste spor af mennesker i Europa fra Spanien og Sydfrankrig er dateret til cirka 1,1 millioner år, men denne alder er forbundet med stor usikkerhed, og det er uklart, om disse spor af mennesker i virkeligheden er ældre

eller yngre end den Midt-Pleistocene Revolution. Sporene fra Spanien har også affødt den hypotese, at Europa blev koloniseret fra syd hen over Gibraltarstrædet, men mange regner det for usandsynligt, fordi det har været tæt på umuligt for disse forhistoriske mennesker at krydse strædet mellem Afrika og Spanien.

Problemet er bare, at der har manglet spor efter forhistoriske mennesker andre steder i Europa, der er ældre end dem fra Spanien.

Den nye alder fra Korolevo på 1,42 +/- 0,10 millioner år viser dermed for første gang utvetydigt, at mennesket var til stede i Europa før denne



Fotos: Aarhus Universitet.

påståede flaskehals for 0,9 million år siden.

Faktisk viser nye modelstudier af klima- og vegetationsændringer over de sidste 2 millioner år, at der var tre kortvarige varmeperioder i Europa for cirka 1,4 millioner år siden, hvor forholdene var gunstige for mennesket. Det er således overvejende sandsynligt, at mennesket udnyttede en af disse korte perioder til at migrere mod nordligere breddegrader. Korolevo repræsenterer faktisk det nordligste spor af forhistoriske mennesker, der med sikkerhed er ældre end 1 million år.

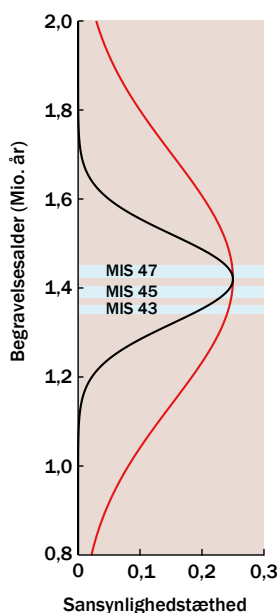
De første europæere var sandsynligvis *Homo erectus*

Hvem var så disse tidlige mennesker, og hvor kom de fra? Fraværet af knoglerester ved Korolevo gør, at vi ikke med sikkerhed kan sige, hvem disse første europæere var. Stenredskaberne er imidlertid for primitive til at være produceret af *Homo sapiens* eller neanderthalere. Derfor var "værktøjsmagerne" sandsynligvis en eller anden va-

Ved Institut for Geoscience på Aarhus Universitet har vi laboratorie-faciliteter til at forbehandle prøver til datering med kosmogene isotoper. Når koncentrationerne af ^{10}Be og ^{26}Al efterfølgende skal måles, foregår det ved hjælp af accelerator-massespektrometri ved The Aarhus AMS Centre (AARAMS) på Institut for Fysik og Astronomi. Prøverne fra Korolevo er dog ikke forbehandlet og analyseret i Aarhus, men ved Dresden AMS-laboratoriet (DREAMS) i Tyskland.

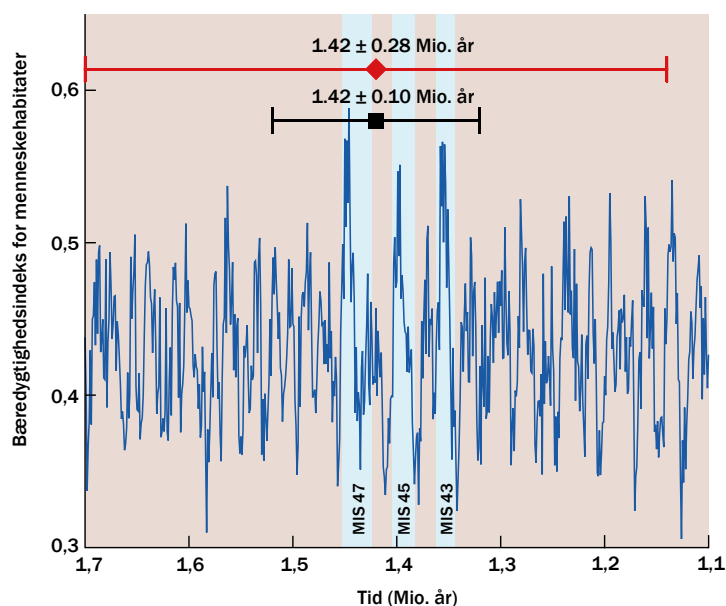


Stenredskab fundet på jordoverfladen ved Korolevo, som sandsynligvis stammer fra det lag (lag VII), hvor arkæologerne har fundet såkaldte Mode-1- (eller Oldowan-) stenredskaber.
Foto: Roman Garba



Grafen til venstre viser sandsynlighedsfordelinger for alderen på de primitive "Mode-1"-stenredskaber fra Korolevo i Vestukraine. De to kurver repræsenterer to forskellige modeller – nemlig den traditionelle model kaldet isochron-metoden (rød) og P-PINI (sort), som er den model, vi har udviklet ved Institut for Geoscience.

Enheden på 1.-aksen (sandsynlighedstæthed) er et mål for de angivne aldres sandsynlighed, og det fremgår, at begge modeller har toppunkt ved 1,4 millioner år, men P-PINI indrammer denne alder med større præcision. De tre blå linjer kaldet (MIS 43, 45 og 47) repræsenterer tre korte mellemistider.



På figuren til højre viser den blå kurve et bæredygtighedsindex, dvs. hvor velegnet det klimatiske miljø har været for *Homo erectus* ved Korolevo i perioden for mellem 1,7 og 1,1 millioner år siden.

Det fremgår, at de tre højeste punkter er sammenfaldende med de tre førnævnte mellemistider, og at de tidsmæssigt ligger netop inden for det dateringsinterval, som det nye studium er nået frem til. Dermed er det sandsynligt, at *Homo erectus* indvandrede til Europa i en af disse korte mellemistider.

Figur efter Garba et al (2024).

Videre læsning:

Den videnskabelige artikel i *Nature*: GR. Garba, V. Usyk, L. Ylä-Mella, J. Kamenik, K. Stübner, J. Lachner, G. Rugel, F. Veselovský, N. Gerasimenko, A. I. R. Herries, J. Kučera, M. F. Knudsen & J. D. Jansen. East-to-west human dispersal into Europe 1.4-million-years-ago. *Nature* 627 (2024). DOI: 10.1038/s41586-024-07151-3.

riant af arten *Homo erectus* (fra latin "det oprejste menneske"), en fjern, men bemærkelsesværdig succesfuld, forfader til det moderne menneske.

Homo erectus opstod i Afrika for cirka 2 millioner år siden og arten bredte sig efterfølgende ud over store dele af det sydlige Asien og Europa. Vi ved for eksempel, at *Homo erectus* var til stede ved Dmanisi i det sydlige Kaukasus for 1,8 millioner år siden. Her har man også fundet primitive stenredskaber, der minder om dem, der er fundet ved Korolevo i Vestukraine. Vores nye datering af lagene med stenredskaber i Vestukraine bygger derfor en bro mellem fundene i Kaukasus og Spanien, som bekræfter hypotesen om, at

disse forhistoriske mennesker skulle være kommet til Europa via Gibraltarstrædet. Det er langt mere sandsynligt, at Europa først blev koloniseret fra øst eller sydøst, enten via Tyrkiet og Donau-korridoren eller via Kaukasus og nord om Sortehavet.

Det mest sandsynlige scenarie er, at disse tidlige mennesker migrerede ud af Afrika gennem Levanten, hvor man i Jordan har fundet Mode-1-stenredskaber, der er op til 2,5 millioner år gamle, og nåede Kaukasus for 1,8 millioner år siden. Det sydlige Kaukasus har muligvis fungeret som en slags refugium, hvorfra disse tidlige mennesker har migreret ud i verden, da klimaet blev varmere, og vegetationen ændrede sig.

Nye metoder driver vores viden frem

Selvom vi nu har en mere sandsynlig hypotese for, hvordan og hvornår de første mennesker kom til Europa, er det vigtigt at understrege, at også denne fortælling er behæftet med megen usikkerhed, fordi den bygger på små sporadiske glimt af viden.

Men fordi vores værktøjskasse hele tiden udvider sig – som det har været tilfældet her med datering ved hjælp af kosmogene isotoper – vil vores viden helt sikkert blive øget. Udviklingen indenfor studier af palæo-DNA og palæoproteiner vil således potentielt gøre det muligt at fastslå, hvordan forskellige menneskearter er forbundne, og hvornår de befolkede forskellige dele af Jorden ■