

Kulstof-14 datering med acceleratormetoden (AMS)

Af Jan Heinemeier og Niels Rud

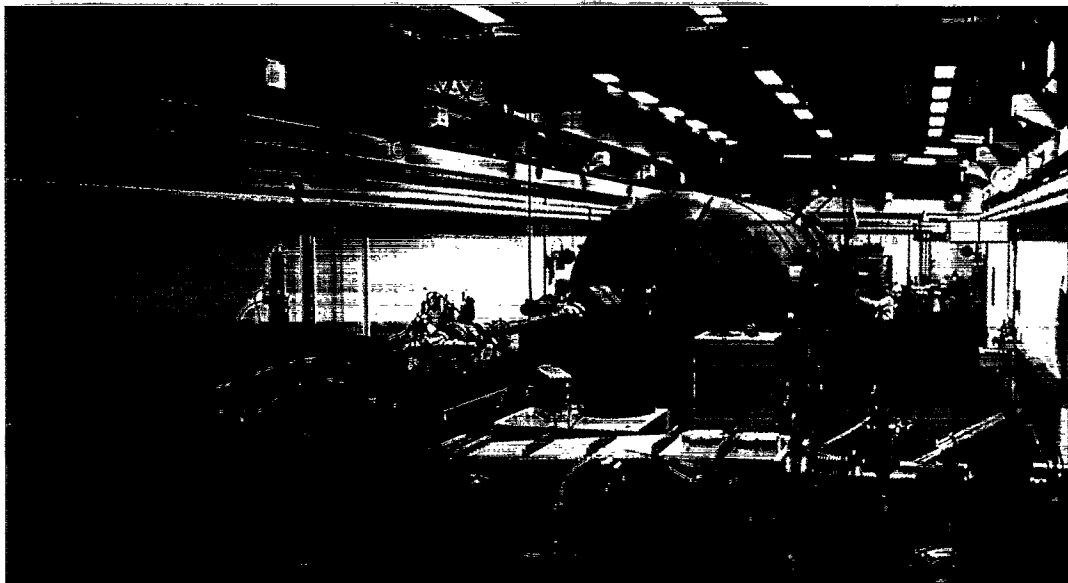


Fig. 1. Tandemacceleratoren ved AMS ^{14}C Dateringslaboratoriet i Århus analyserer ^{14}C -indholdet i kulstofprøver på mindre end et milligram ved at accelerere kulstofatomerne til 5-10% af lysets hastighed. Personen ved siden af acceleratortanken angiver størrelsesforholdet.

Kulstof-14 dateringerne af trækul fra Saqqaqkulturen (omtalt i artiklen om Saqqaqkulturen på Asummiut) og menneskeknoglerne fra Thulekulturens grave på Asummiut er foretaget ved hjælp af acceleratormetoden (AMS) på AMS ^{14}C Dateringslaboratoriet ved Aarhus Universitet (Institut for Fysik og Astronomi).

Acceleratormetoden

Til brug for dateringerne måles prøvernes indhold af kulstof-14 (^{14}C) ved hjælp af instituttets store atomaccelerator (fig. 1), der virker som et sorteringsapparat (massespektrometer), der kan skille de sjældne og radioaktive ^{14}C isotoper ud fra de mere end 1 billion gange hyppigere almindelige kulstofisotoper, ^{12}C og ^{13}C ,

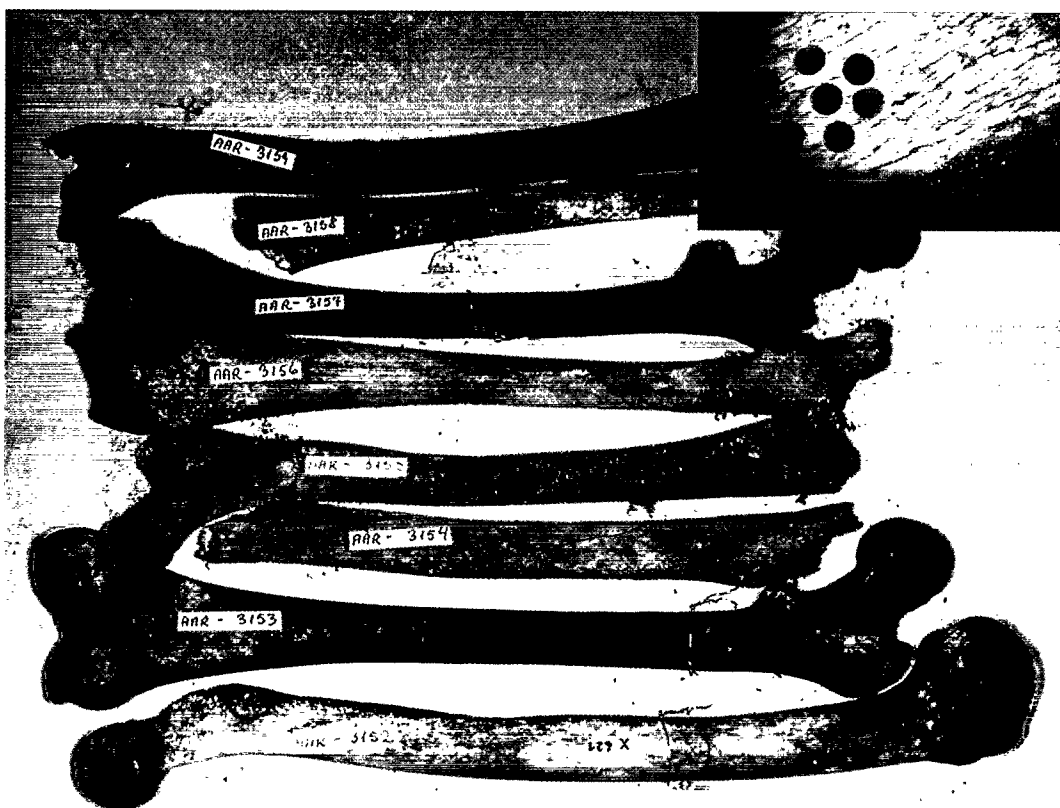


Fig. 2. Foto af de otte ^{14}C -daterede lårbensknogler fra Thulegraven D7 på Asummiut. Udsnittet viser 4 mm udbo-
ringer af ^{14}C -prøver fra den midterste, velbevarede del af knoglerne. Der er i dette tilfælde udtaget rigeligt prøve-
materiale for yderligere analyser af stabile isotoper.

som er stabile, altså ikke radioaktive. Principperne i ^{14}C -datering med AMS-metoden er de samme som ved traditionel ^{14}C -datering, men fordelene ved at bruge acceleratoren er, at detektionen af ^{14}C -indholdet i en prøve er så effektiv, at en præcis datering kan foretages på prøver med mindre end 1 milligram kulstof. Da det er 1000 – 10000 gange mindre end ved traditionel ^{14}C -datering, som f.eks. kræver det meste af et lårben, er der tilstrækkeligt materiale i et enkelt lille stykke trækul og vi kan bevare

uerstatteligt knoglemateriale intakt til fremtidige naturvidenskabelige undersøgelser.

I acceleratormetodens barndom (startede for nøjagtig 20 år siden) frygtede man, at de små prøver skulle være særlig udsat for forurening med nutidigt materiale. I stedet har det tværtimod vist sig, at prøvernes renhed nemt kan kontrolleres under mikroskop og vi kan desuden selektivt udvælge de bedst egnede og bedst bevarede dele af materialet til datering.

Datering af knoglerne fra Thulekulturens grave

Fig. 2 viser de otte daterede lårbensknogler fra én grav, D7, på Asummiut. Faktisk var småknoglerne fra graven meget dårligt bevaret – lette, porøse og fuldstændig infiltreret af fine rødde, som ville være umulige at fjerne og som ville have forstyrret dateringerne på grund af bidrag af yngre materiale. Også ledfladerne på de store knogler var dårligt bevaret, mens midten af de store lemmeknogler var meget velbevaret, som vi ofte ser det. Udsnittet viser, hvordan knogleprøverne er udtaget fra netop denne kompakte del af knoglen med et 4 mm bor – i dette tilfælde er der taget mere materiale end sædvanligt, fordi knoglerne indgår i en undersøgelse af kostvaner ud fra indholdet af de stabile isotoper kulstof-13 og kvælstof-15 (^{13}C og ^{15}N), som omtales senere. I præparationen af knoglematerialet, som varer et par døgn, viste den gode bevaringstilstand sig i det høje indhold af kollagen (20%), som er det stof dateringen foretages på. Efter en måletid på 1-2 timer i acceleratoren er knoglens ^{14}C -alder bestemt med en nøjagtighed på 30-40 ^{14}C -år. Ved deltagelse i en international sammenligning af ca. 70 ^{14}C -laboratorier har vi sikret os, at den angivne nøjagtighed er realistisk.

Datering af materiale fra havet

^{14}C datering i grønlandsk arkæologi er en speciel udfordring, fordi eskimoer i så høj grad lever af føde fra havet – og fordi havet, og føden der stammer fra det, i sig selv er »gammelt«. Havet siges at have en reservoiralder, typisk på 400 år, som

skyldes, at CO_2 fra atmosfæren, der opløses i havet, i gennemsnit opholder sig så længe der, at den kommer til at synes gammel. En fisk, der svømmer lyslevende i havet, synes også typisk 400 år gammel, hvis man går efter ^{14}C -indholdet – og en person, der kun spiser fisk, bliver tilsyneladende lige så gammel. For at finde eskimoknoglernes virkelige alder, må der derfor trækkes ca. 400 år fra den målte ^{14}C -alder.

For at datere skelettet af en person, der har levet af en blanding af hav- og landføde, må vi kende sammensætningen for at kunne fratrække den dertil svarende reservoirkorrektur. Heldigvis kan indholdet af isotopen ^{13}C (ca. 1%) i forhold til indholdet af isotopen ^{12}C (ca. 99%) i sådanne knogler afsløre personens fødevaner, altså det procentvise indhold af marin føde. Det nøjagtige, relative indhold af ^{13}C beskrives ved hjælp af størrelsen af $\delta^{13}\text{C}$ (delta-C-13), som angiver promilleafvigelsen i forholdet $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, relativt til det tilsvarende isotopforhold i en internationalt accepteret ^{13}C -standard, den såkaldte PDB-standard.

Isotopanalyse af et stort antal knogler fra forskellige kulturer og geografiske områder viser, at for personer i nordlige områder er $\delta^{13}\text{C} = -12.5\text{‰}$ en typisk værdi for personer, der næsten udelukkende lever af marin føde, mens en »terrestrisk« person har $\delta^{13}\text{C} = -21\text{‰}$. Faktisk er der målt så overraskende ensartede isotopsammensætninger for mange individer inden for samme område og kultur, at der ikke synes at være forskelle i forskellige personers reaktion på samme kost – »du er hvad du spiser«. Et eksempel er netop de otte individer fra Asum-

Laboratorie nr.	Prøvetype	Journalnr.	^{14}C alder før 1950	Reservoirkorrigeret ^{14}C alder før 1950	Kalibreret alder e.Kr.	Kalibreret alder e.kr. ± 1 stdv	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) PDB
AAR-3152	Menneskeknogle	Sik 892 x 621	740 $\pm$ 35	340 $\pm$ 35	1520-1625	1485-1640	-12.6
AAR-3153	Menneskeknogle	Sik 892 x 729	770 $\pm$ 35	370 $\pm$ 35	1490-1610	1465-1630	-12.5
AAR-3154	Menneskeknogle	Sik 892 x 119	755 $\pm$ 30	355 $\pm$ 30	1515-1620	1480-1635	-12.4
AAR-3155	Menneskeknogle	Sik 892 x 5	745 $\pm$ 30	345 $\pm$ 30	1520-1625	1485-1635	-12.4
AAR-3156	Menneskeknogle	Sik 892 x 40	790 $\pm$ 40	390 $\pm$ 40	1480	1450-1620	-12.2
AAR-3157	Menneskeknogle	Sik 892 x 596	825 $\pm$ 40	425 $\pm$ 40	1450	1440-1480	-12.6
AAR-3158	Menneskeknogle	Sik 892 x 322	815 $\pm$ 40	415 $\pm$ 40	1455	1440-1485	-11.9
AAR-3159	Menneskeknogle	Sik 892 x 28	745 $\pm$ 50	345 $\pm$ 50	1520-1620	1470-1640	-12.7
AAR-3089	Tran fra kogekar	SIK 892	805 $\pm$ 50	405 $\pm$ 50	1470	1440-1620	-22.1
AAR-3089-2	Baseudtræk af tran	SIK 892	835 $\pm$ 30	435 $\pm$ 30	1445	1440-1470	-22.7

Fig. 3. Tabel over dateringsresultaterne fra Asummiut. Dateringerne er angivet i såkaldt konventionelle ^{14}C -år (før 1950), før og efter en marin reservoirkorrektion på 400 år.

miut, der viser en snæver fordeling i $\delta^{13}\text{C}$ -værdier, alle meget tæt ved -12.5‰ (se tabellen figur 3). Kosten må have været altdominerende marin, evt. med et mindre tilskud af terrestrisk føde, som f.eks. rensdyrkød. De »rå« ^{14}C -dateringsresultater i tabellen er derfor fratrasket en korrektion på 400 år for at give den reservoirkorrigerede alder i den næste kolonne i tabellen. Denne korrigerede alder skal i princippet være sammenlignelig med ^{14}C -alderen af samtidigt, rent terrestrisk materiale. Tranprøven i tabellen (baseudtræk fra samme prøve er også målt), som er taget fra et kogekar, kan i princippet stamme fra rensdyr eller sæl. Den målte $\delta^{13}\text{C}$ -værdi på ca. -22‰ er hvad vi forventer for fedtprøver fra hav-

pattedyr, da fedtprøver fra et individ viser væsentligt mere negative $\delta^{13}\text{C}$ -værdier end tilsvarende knogleprøver. Da der dermed er tale om sæl, er der foretaget samme reservoirkorrektion på tranprøvernes ^{14}C -alder som for knoglerne og dateringerne for de to prøvetyper giver herefter samme resultat, i overensstemmelse med arkæologernes forventninger. At resultaterne for tranprøven og baseudtræk fra samme er ens inden for måleusikkerheden, giver en vis sikkerhed for, at tranprøven er homogen og ukontamineret.

Det synes også at være muligt at beregne blandede marin/terrestriske kostsammensætninger ret nøjagtigt ved interpolation mellem de to yderpunkter i $\delta^{13}\text{C}$

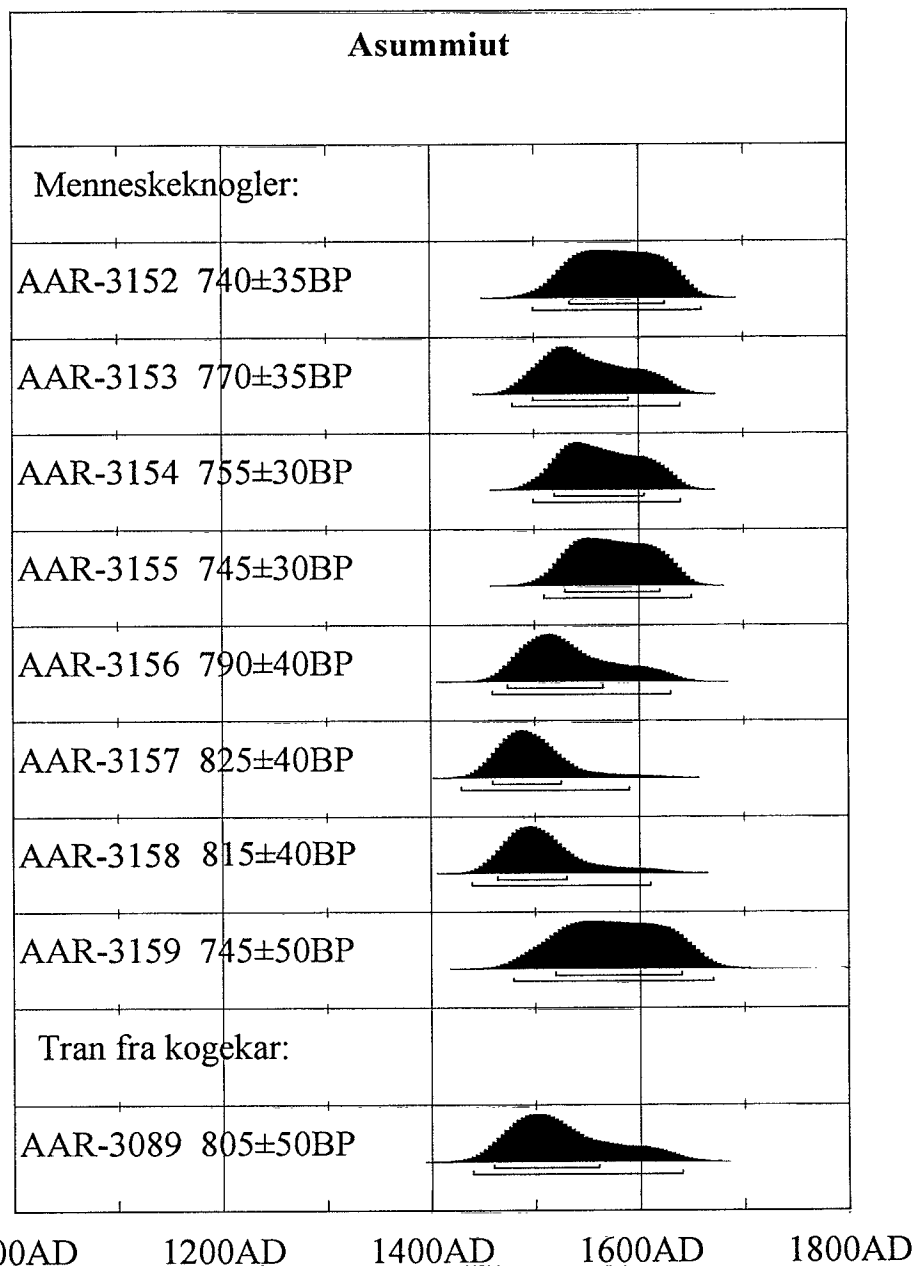


Fig. 4. Kalibrering af de otte menneskeknogler og to prøver af brændt spæk fra et kogekar fra grav D7 på Asummiut. Dateringerne er angivet efter laboratorienummeret (AAR-) i konventionelle ^{14}C -år BP (Before Present = før 1950). For at finde prøvernes virkelige alder er det nødvendigt at omsætte (kalibrere) ^{14}C -dateringerne til kalenderår ved hjælp af en kalibreringskurve, der er fremkommet ved ^{14}C -målinger på træringe, hvis alder er bestemt ved dendrokronologi. Da alle 9 prøver tilhører den marine fødekæde er der brugt en modelberegnet marin kalibreringskurve. Figuren illustrerer for hver prøve den resulterende sandsynlighedsfordeling inden for de forskellige tidsintervaller på årstalsaksen (AD = e.Kr.).

og dermed beregne den dertil svarende reservoirkorrektion for sådanne knogler.

Dateringsresultaterne

De målte ^{14}C -aldre i tabellen er ens inden for måleusikkerheden, som er 30-40 ^{14}C -år. Alligevel kan resultatet godt svare til, at graven har været i brug i godt 200 kalenderår. For at finde prøvernes virkelige alder er det nemlig nødvendigt at omsætte (kalibrere) ^{14}C -dateringerne til kalenderår ved hjælp af en kalibreringskurve, der er fremkommet ved ^{14}C -målinger på træringe, hvis alder er bestemt ved simpel tælling (dendrokronologi). Figur 4 illustrerer for hver prøve den resulterende sandsynlighedsfordeling inden for de forskellige tidsintervaller på årstalsaksen (AD = e.Kr.).

Den brede struktur i fordelingerne skyldes, at der i kalibreringskurven er et fladt stykke (plateau) i perioden fra midten af 1400-tallet til midten af 1600-tallet, som er forårsaget af variationer i atmosfærens ^{14}C -indhold i dette tidsrum. Der er til kalibreringen anvendt en marin kalibreringskurve (Radiocarbon 1993), der både tager hensyn til en reservoiralder på 400 år og til de mere dæmpede variationer i havets ^{14}C -indhold sammenlignet

med atmosfærens. De øverste vandrette klammer under fordelingerne viser de tidsintervaller, der tilsammen indeholder 68% af sandsynligheden, svarende til 1 standardafvigelse. De nederste klammer viser de intervaller, som den virkelige alder med 95% sandsynlighed ligger inden for, svarende til 2 standardafvigelser. Selv en endnu lavere måleusikkerhed i resultaterne ville ikke kunne fjerne meget af kalibreringens flertydighed i denne periode.

Kostvaner og de stabile isotoper, ^{13}C og ^{15}N

Vi er for nyligt begyndt at udvide isotopanalyserne på grønlandsk knoglemateriale for både nordboer og eskimoer med målinger af det relative indhold af kvælstofisotopen ^{15}N , som er relateret til niveauet i fødekæden. Der hvor $\delta^{13}\text{C}$ -værdien viser, at nordboerne i Grønland kommer op på 80% marin kost, altså nærmer sig eskimoernes levevis med hensyn til meget marin føde, vil $\delta^{15}\text{N}$ måske vise, om nordboerne f.eks. har levet mere af fisk end af sæler i sammenligning med eskimoerne. Sælerne er højere i fødekæden, fordi de selv æder fisk. Metoden er stadig meget ny og resultaterne er få, men vi er ved at samle data for grønlandsk knoglemateriale fra både mennesker og dyr.