

^{14}C dateringer af menneskeknogler

Med de grønlandske nordboer som eksempel

Af *Jette Arneborg, Jan Heinemeier, Niels Lynnerup, Niels Rud og Árný E. Sveinbjörnsdóttir*

1. Indledning

Selv om ^{14}C datering af menneskeknogler i princippet er en af de mest direkte tilgange til at bestemme tidspunktet for en begravelse, har metoden været kontroversiel. En gennemgang af eksempler på uoverensstemmelser for ^{14}C -dateringer på knoglemateriale fra middelalderkirkegårde sammenholdt med andre dateringsmetoder er givet af Jakob Kieffer-Olsen.¹ Årsagen til vanskelighederne med at opnå dateringer, der tilfredsstiller de høje krav til nøjagtighed i middelalderarkæologien, ligger i, at netop menneskeknogler hyppigt får forhøjede tilsyneladende ^{14}C -aldre på grund af den såkaldte reservoir-effekt. Sammenlignet med samtidige terrestriske organismer medfører reservoir-effekten højere ^{14}C -aldre for marine organismer og for organismer, der lever i fjordvand eller ferskvand, der er påvirket af fossilt kulstof fra opløst kalk i grundvand. Da mennesket i varierende omfang spiser havføde, vil ^{14}C -dateringen blive påvirket af havets tilsyneladende reservoiralder på typisk ca. 400 år, hvorved ^{14}C -alderen på knoglen forhøjes med 0-400 år, afhængig af andelen af marin føde.

Selv om der er gjort store fremskridt i forståelse af disse problemer og løsning af dem ved bestemmelse af den marine fødeandel ud fra måling af stabile isotoper, især kulstof-13, er der stadig vanskeligheder med knogler af personer, der kan have haft et større

eller mindre tilskud af marin føde. I praksis skyldes vanskelighederne især:

1. Undervurdering af den nødvendige reservoir-korrektion, der beregnes på grundlag af målte $\delta^{13}\text{C}$ -værdier som indikator for den marine andel.

2. Havføden stammer delvist fra fjordområder, hvor der i danske områder er konstateret reservoir-effekter op til ca. 900 år i stedet for de sædvanlige ca. 400 år.²

3. Indtagelse af fisk fra ferskvandsområder, der kan have høje reservoir-effekter i kalkholdige områder, men som ikke kan afsløres af $\delta^{13}\text{C}$ -målinger.

I de følgende afsnit giver vi et detaljeret eksempel på, hvordan det har været muligt at foretage ^{14}C -præcisionsdateringer på grønlandske nordboer, baseret på ^{13}C -isotopmålinger, som samtidig har givet nye oplysninger om udviklingen i de grønlandske nordboers fødeunderlag. Trods stor marin fødeandel er de naturlige forhold i Grønland så gunstige, at (2) og (3) ikke spiller en væsentlig rolle.³

For de danske områder kan der derimod være problemer, fordi den kalkholdige undergrund især i de nordlige og østlige egne kan give forhøjede reservoir-effekter under visse forhold. Her kan fremtidige undersøgelser over kvælstof-15 isotopens sammen-

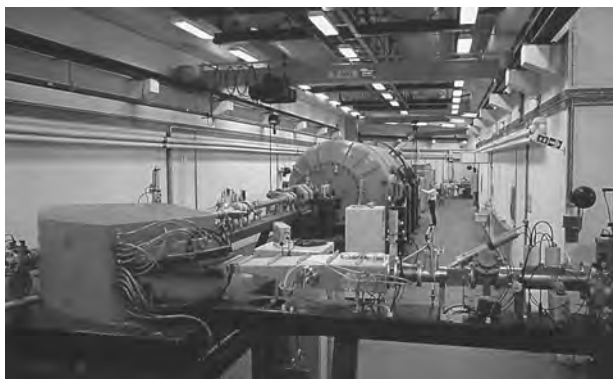


Fig. 1. Tandemacceleratoren ved Aarhus Universitet, der med sin højspænding på flere millioner volt accelererer kulstof-14 atomer til 5 % af lysets hastighed og daterer prøver helt ned til 0.1 milligram kulstof. Bemærk størrelsesforholdet, der angives af den studerende til højre for selve acceleratoren midt i billedet. Selv om acceleratoren også bruges til atomfysik, kernefysik og faststoffysik, kulstof-14 dateres der 800-1000 prøver om året på den. Foto: Jan Heinemeier.

hæng med fødekæden dog muligvis løse problemerne med (2) og (3), men det må stadig anbefales om muligt at supplere datering af menneskeknogler med datering af terrestriske dyreknogler (ko, får, ged), men at undgå dyr som (tamme) hunde og svin, der kan have haft en delvis kost af fiskeaffald. Ved AMS Laboratoriet i Århus er vi i gang med en undersøgelse af reservoir effekter, baseret på parvist tidsmæssigt sammenhørende sæt af prøver, der tillader sammenligning af dateringer på rene terrestriske materialer med materiale, der helt eller delvist er af marin eller akvatisk oprindelse.⁴

2. Isotoperne fortæller om de grønlandske nordboers liv

I følge de skriftlige kilder førte Erik den Røde for 1000 år siden en lille gruppe islændinge til sydvest-

kysten af Grønland for at grundlægge en europæisk bondekoloni. Området foran de grønlandske gletschere kunne naturligvis kun give grundlag for en agerbrugsøkonomi, der var baseret på husdyrhold. Men trods de ugæstfri omgivelser og den fjerne beliggenhed havde denne europæiske forpost gode forbindelser tilbage til Europa. Allerede tidligt i koloniens eksistens blev Nordamerika opdaget, næsten 500 år før Columbus' historiske opdagelsesrejse i 1492.

Kolonien holdt sig i live i omtrent fem århundreder, men begyndte at gå i opløsning i midten af 1300-tallet, da den nordligste del, Vesterbygden, blev opgivet, og de grønlandske nordboer synes helt forsvundet, også fra den sydligere Østerbygden, på et tidspunkt i sidste halvdel af 1400-tallet. Hvad der egentlig skete, er stadig en gåde og har i tidens løb været genstand for heftig debat. Der har været nævnt årsager som forværret klima, overgræsning, epidemier, indavl, engelske sørøvere, fremmed konkurrence på handelen, fjendtlige eskimoer eller en kombination af dem alle.

Hidtil har kendskabet til den norrøne kulturs udvikling i Grønland hovedsageligt været baseret på skrevne kilder og udgravninger i nordbobygderne. Resultaterne fra undersøgelse af nordbogårdernes møddinger fortolkes som udtryk for en økonomi baseret på husdyrhold og sælfangst, men det er svært at udlede kvantitative resultater, da der altid vil være usikkerhed om, hvor stor en del af knoglerne fra de forskellige fødeemner, der er endt på møddingen, og i hvilket omfang de er bevaret. Et eksempel er fiskeben, der hurtigt forvitrer i arkæologiske lag, hvis de overhovedet når frem – de er skattede fødeemner for f.eks. fugle, hunde og grise. Endnu sværere er det at se, om der har været tale om en udvikling i fø-



Fig. 2. Ribben af spædbarn. Knoglefragmentet viser, hvor lidt materiale der kræves til en kulstof-14 datering med acceleratormetoden. I hele barnets skelet ville der ikke være nok materiale til en traditionel datering. Foto: Jan Heinemeier.

deunderlaget, f.eks. som tilpasning til ændrede livsbetingelser – ikke mindst fordi de arkæologiske dateringer er indirekte, baseret på de skriftlige kilder og identifikation af de enkelte ruiner ved sammenligning med beskrivelserne i kilderne.

Naturvidenskabelige dateringer og isotopundersøgelser

Specielt har det været vanskeligt at datere de norøne begravelser. Af gennemgående daterbart materiale har der næsten kun været menneskeknogler til rådighed, da gravgaver ophører med kristendommens indførelse kort efter Landnam. Da der til en traditionel kulstof-14 datering medgår det meste af f.eks. et lårben fra et voksent menneske, har man stort set afstået fra at foretage dens slags dateringer på den enestående samling af nordbokogler (dele af skeletter fra mindst 450 mennesker), som findes på Panum Instituttet ved Københavns Universitet. Knoglematerialet er resultatet af danske udgravnin-



Fig. 3. Udboring af knogleprøve til AMS kulstof-14 datering og isotopanalyser. Foto: Jan Heinemeier.

ger i Grønland fra 1921 til nu og giver en enestående dækning af en hel kultur, fordi så mange kirkegårde er repræsenteret.⁵

Indførelsen af den nye acceleratorteknik til kulstof-14 datering (Accelerator-masse-spektrometri, AMS) har medført et gennembrud på området i forbindelse med udviklingen af AMS Laboratoriet ved Fysisk Institut på Århus Universitet siden midten af 1980'erne (se fig. 1).⁶ Til hver datering med AMS-metoden medgår mindre end en tusindedel (mindre end 1 milligram kulstof) af den prøvemængde, der kræves til en traditionel kulstof-14 datering. Der kan altså laves dateringer på selv ganske små knoglefragmenter (fig. 2), og der kan endda opnås en meget høj grad af sikkerhed ved flere dateringer på den samme knogle uden at der ødelægges nævneværdigt af det uerstattelige arkæologiske materiale (fig. 3).

For AMS Laboratoriet var det faktisk en af de hidtil største udfordringer, da der kom en henvendelse⁷ om at deltage i et dateringsprojekt og foretage iso-

topundersøgelser på nordboknøglere fra den norrøne periode i Grønland. Målet var at dække nordboerperioden tidsmæssigt og med en vis geografisk (Østerbygden/Vesterbygden) og social variation. Til formålet var udvalgt 27 menneskeknogler, seks tekstiler og en enkelt koknogle.

Vanskelighederne var indlysende: Der stilles meget høje krav til præcision i dateringerne, når der skal fastlægges en kronologi inden for den korte koloniseringsperiode på bare 400-500 år. Ved dateringer af mennesker, der har haft adgang til føde fra havet, ligger der yderligere en principiel vanskelighed i, at den marine fødekæde har en tilsyneladende kulstof-14 alder, der er omkring 400 år højere end den tilsvarende (samtidige) terrestriske. Det vil sige, at knoglerne af et menneske, der måtte have levet udelukkende af sæl og fisk, vil se ca. 400 år ældre ud i en kulstof-14 datering end hans samtidige, der har levet udelukkende af fårekød og mælk. Hvis vi ikke kender forholdet mellem den marine og den terrestriske fødeandel, kan en meget "marin" nordboer fra slutningen af perioden komme til at se ud, som om han er fra Landnamstiden.

Ud over anvendelse af gentagne kulstof-14 målinger på den enkelte knogle for at opnå høj præcision og sikkerhed i dateringerne lå løsningen i at måle forholdet mellem hyppighederne af de stabile (ikke-radioaktive) kulstofisotoper, kulstof-13 i forhold til kulstof-12. At dette isotopforhold er forskelligt for den terrestriske og den marine fødekæde blev tidligt erkendt af Henrik Tauber, mangeårig leder af Kulstof-14 Laboratoriet ved Nationalmuseet, og anvendt til en omtrentlig vurdering af den marine fødeandel for arkæologiske menneskeknogler.

For at gennemføre projektet var det en nødvendig forudsætning, at det faktisk er muligt at gennemføre

en detaljeret, kvantitativ beregning af den marine fødeandel ud fra den målte isotopsammensætning af kulstoffet i knoglernes kollagen og dermed beregne den nøjagtige korrektion (den såkaldte reservoirkorrektion) af kulstof-14 alderen på grund af den "gamle" havføde. "Du er hvad du spiser" skal altså gælde helt bogstaveligt, hvad angår kulstof-13 sammensætningen.

At to mennesker, der har de samme kostvaner, virkelig får ens kulstof-13 værdier, antydes af den sammenstilling af kulstof-13 værdier på arkæologiske knogler, målt af internationale laboratorier og AMS Laboratoriet (fig. 4). De "terrestriske" mennesker fra det indre af Norge og Sverige har en meget snæver, entydig fordeling med et meget lavt indhold af kulstof-13, mens eskimoer, der er sammenfaldende tidsmæssigt og geografisk med nordboerne i Grønland, har en snæver, "marin" fordeling med et højt indhold af kulstof-13, i overensstemmelse med en arkæologisk forventning om en (næsten) ren marin levevis. Forskellen er 8,5‰ på en relativ skala. På figuren ses derimod effekten af, at tidlige indianere fra British Columbia's kyst, der også er meget marine, har haft større adgang til terrestrisk føde, så spredningen i kulstof-13 værdier er større på grund af individuelle forskelle i valget af føde.

Kulstof-13 og nordboernes kost

På figur 4 ses også kulstof-13 målingerne på de grønlandske nordboer. Målingerne er foretaget med høj præcision på det konventionelle massespektrometer på Science Institute i Reykjavik som led i et fast etableret dateringssamarbejde med AMS Laboratoriet. Resultatet er slående: Nordboerne dækker næsten hele området mellem de terrestriske mennesker i Norge og Sverige og de marine eskimoer på Grønlands

sydvestkyst. Oversat til fødesammensætning svarer det til hele intervallet fra 20% til 80% i marin fødeandel.

Der er tale om en helt usædvanligt stor variation i fødeunderlag for én kultur i en meget begrænset tidsperiode. Det kunne skyldes individuelle præferencer evt. i forbindelse med social lagdeling, eller der kunne være tale om en tidsudvikling. For at løse spørgsmålet kræves nøjagtige kulstof-14 dateringer, der er korrigeret for reservoir-effekten af det beregnede indhold af "gammel" marin føde for hvert individ.

Kulstof-13 og nøjagtige kulstof-14 dateringer

Her er vi blevet hjulpet af et overordentligt heldigt fund fra kirkegården ved den gård, der er blevet identificeret som Herjolfsnes – den sydligste af de norrøne bosættelser, der forventes at være en af de seneste bebyggelser i funktion. Ved udgravningen i 1921 blev der sammen med tre skeletter tæt ved hinanden fundet de uldklæder, som de døde var gravlagt i, og som lykkeligvis var bevaret af permafrosten. Klæderne giver en enestående mulighed for at kontrollere den korrigerede kulstof-14 alder af knoglerne. Kulstof-14 datering af et par enkelte uldtråde fra hver dragt viser, at gravene er samtidige som forventet ud fra den stratigrafiske placering.

Da fåreuld er terrestrisk, er der ikke brug for reservoirkorrektion og gravene (klæderne) er dermed dateret til 1430 e.Kr. med en usikkerhed på ± 15 år. Det er faktisk foreløbigt den seneste sikre datering af nordboernes tilstedeværelse i Grønland.⁸ Ét af skeletterne, en ung kvinde (20-25 år), havde en ukorrigeret kulstof-14 alder, der var 420 år ældre end klæderne, hvilket ville placere hendes død kort efter Landnam, mens de to andre skeletter, et barn og en

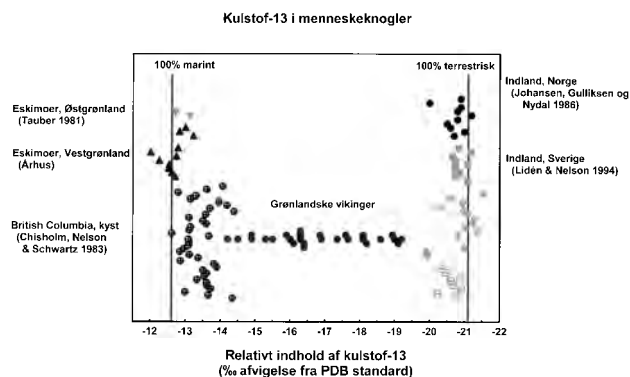


Fig. 4. Figuren viser, hvor tydeligt kulstof-13 målinger (på x-aksen) kan skelne mellem mennesker, der har spist henholdsvis landføde og havføde (y-aksen bruges kun til gruppering af de enkelte dataserier). Forhistoriske mennesker fra indlandet i Norge og Sverige ligger helt til højre på figuren med et meget "terrestrisk" kulstof-13 indhold ved -21‰, mens grønlandske eskimoer og indianere fra Canadas vestkyst ligger langt til venstre med de mest marine værdier omkring -12.5‰. Nordboerne i Grønland dækker næsten hele det mellemliggende område. Det tolker vi som, at befolkningens marine fødeandel strækker sig fra 20% og helt op til 80% marin føde – en enestående spændvidde i kostvaner for en befolkning, der er så koncentreret geografisk, kulturelt og tidsmæssigt.

ældre kvinde, var omkring 250 år ældre end klæderne. Imidlertid viste kulstof-13 analyserne af knoglerne et marint indhold på næsten 80% for den unge kvinde og ca. 55% for de to andre. Selv om beregningerne er mere komplicerede, er løsningen i forenklet form således: Ved at fratække den tilsvarende brøkdel af en fuldt marin reservoiralder på 450 år for hvert af de tre individers kulstof-14 aldre, bliver de alle tre samtidige med klæderne. Da det marine indhold er meget forskelligt, giver det tillid til, at metoden virker til detaljerede individuelle korrektioner.

Efter at parametrene hermed var lagt fast, kunne vi korrigere alle knogledateringerne i undersøgelsen på tilsvarende måde. De er afbildet, kalibreret i ka-

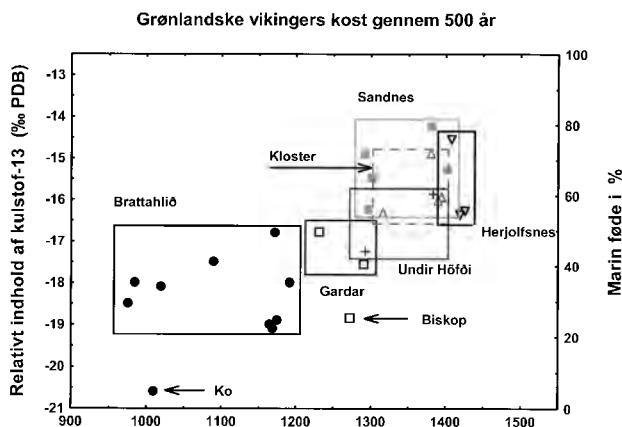


Fig. 5. Kulstof-13 indhold i grønlandske nordboskeletter som funktion af dødstidspunktet, bestemt ved hjælp af kulstof-14. På den højre akse er kulstof-13 indholdet oversat til det beregnede procentvise marine indhold i personens kost. Symbolerne refererer til resultater fra de enkelte (indrammede) kirkegårde. Figuren viser, at de store forskelle i kostvaner svarer til en markant stigning i udnyttelsen af ressourcer fra havet i løbet af tiden i Grønland. Skelettet fra Gardar, der er mere terrestrisk end de øvrige, er en biskop (begravet med sin stav), der formentlig stadig er præget af kosten fra sit hjemland, Norge.

lenderår, på x-aksen i fig. 5, mens y-akserne viser henholdsvis det målte kulstof-13 indhold og den heraf udledte marine fødeandel i procent.

Bemærk, at de tidligste dateringer af menneskeknogler netop ligger i Landnamstiden (980'erne e.Kr. i følge de skriftlige kilder). Knoglerne stammer fra kirkegården omkring et ganske lille anlæg, som anses for at være en af de første – om end ikke den første – norrøne kirke i Grønland.⁹ I følge *Eirík's saga* anlagde Erik den Rødes kone Tjodhilde en lille kirke ikke alt for tæt ved gården på Brattahlíð omkring år 1000, og den lille kirke, der blev fundet i 1961, har siden været kendt som Tjodhildes kirke (fig. 6). Dateringen af en okseknogle (der jo som terrestrisk dyr



Fig. 6. To af projektets deltagere (Erle Nelson, Canada og Árný Sveinbjörnsdóttir, Island) i de rekonstruerede rester af en tørvekirke med de beskudne mål 3×3 meter, omgivet af en kirkegård med skeletfund, i nærheden af det centrale gårdsanlæg i Qassiarsuk, Brattahlíð. Kulstof-14-dateringerne placerer skeletterne helt tilbage i den ældste periode af nordboebyggelsens historie. Foto: Jan Heinemeier.

ikke behøver nogen korrektion), fundet i en af gravene, hvorfra der også er dateret menneskeknogler, understøtter de tidlige dateringer af menneskeknogler og sandsynliggør, at den lille kirke virkelig er gammel. Derimod kan dateringen naturligvis ikke verificere, om det faktisk var Tjodhilde, der tog initiativ til kirkebyggeriet. Selv om de tidlige menneskeknogler kun er omkring 20% marine, er det helt afgørende at anvende den tilsvarende reservoirkorrektion. Ellers ville dateringerne placere de første bosættere 150 år tidligere, end de historiske oplysninger tillader.

Nordboerne skifter til føde fra havet

Nu hvor kronologien ligger fast, kan vi af fig. 5 se, at de store forskelle i de undersøgte menneske-

knoglers marine indhold repræsenterer en markant stigning i nordboernes afhængighed af havføde i løbet af perioden fra Landnam til bygderne affolkes 4-500 år senere. I begyndelsen er fødesammensætningen omkring 20% marin – nærmest som hos samtidige nordmænd. I slutningen af perioden er der sket en tilpasning til marine ressourcer – omend kun op til 80% af det niveau, vi ser for de samtidige eskimoer. Om denne dramatiske ændring i nordboernes levevis i løbet af nogle få hundrede år skyldes et pres fra et forværret klima, må fremtidig forskning afgøre. Men denne undersøgelse kan under alle omstændigheder tilbagevise eksisterende spekulationer om, at nordboerne bukkede under, fordi de ikke kunne, eller ikke ville, tilpasse sig ændrede livsbetingelser ved at gå over til at udnytte havets rige ressourcer.

3. Fremtidig isotopforskning

Undersøgelsen har vist, at der er et væld af informationer og analysemuligheder i sådanne isotopundersøgelser. Det er også blevet klart for os, at en nærmere kvantitativ forståelse kræver undersøgelser af de stabile isotopers udvikling gennem fødekæderne – den marine og den terrestriske. Carlsbergfondet har bevilget midler til omfattende isotopundersøgelser af arkæologisk knoglemateriale fra nordboernes husdyr og fangst dyr ud over skeletter af nordboer og eskimoer. Dyrreprøverne skal dække stort set hele fødeunderlaget for såvel nordboer som eskimoer og repræsentere en variation i tid, i lokalitet (Østerbygden/Vesterbygden), art (hest, ko, får, ged, svin, hund, rensdyr, hare, ulv, moskusokse, hvalros, flere hvalarter og de fem relevante sælarter) samt sociale forskelle i de gårde, som husdyrene har tilhørt.¹⁰ Hvor kulstof-13 i knoglerne giver information

om, hvilket reservoir kulstoffet stammer fra, forventes tilsvarende målinger af indholdet af kvælstof-15 isotopen at give information om dyrets niveau i fødekæden. Populært sagt er det nøglen til at forstå, om et menneske har levet af fisk eller af sæler, der selv æder fisk. Da der i øjeblikket hverken er faciliteter i Island eller Danmark til at måle kvælstof-15, er professor i arkæometri Erle Nelson, Vancouver, blevet en vigtig person i projektet med sine mange års erfaring i isotoparkæologi og med adgang til sådanne målinger.

En af de vigtige konsekvenser af undersøgelserne kan blive en bedre teknik til reservoirkorrektur af kulstof-14-dateringer af arkæologiske knogler af mennesker fra det danske område. Det er i virkeligheden, som tidligere nævnt, sværere at håndtere end det grønlandske, fordi både fisk fra fjordområder og ferske søer kan have ekstremt høje reservoiraldrer sammenlignet med åbne havområder, men indbyrdes forskellige kulstof-13 signaler. Løsningen kan vise sig at ligge i en kombination af målinger af begge isotoperne kulstof-13 og kvælstof-15.

Noter

1. Jakob Kieffer-Olsen 1993.
2. Se Heier-Nielsen et al. 1995.
3. En mere detaljeret redegørelse for undersøgelsens resultater er publiceret i Arneborg & al. 1999.
4. Eksempler på tilsvarende undersøgelser i det hollandske område er givet af Lanting & van der Plicht (1996 og 1998).
5. Cf. Lynnerup 1998.
6. Beskrevet i Naturens Verden 1992.
7. Bag henvendelsen stod Niels Lynnerup fra Panum Institutet og Jette Arneborg fra Nationalmuseet.
8. Arneborg 1996.
9. Krogh 1982 s. 33ff.
10. Knoglerne findes på Zoologisk Museum i København, og konservator Jeppe Møhl herfra er med i projektet.

Litteratur

- Arneborg, J.: Burgunderhuer, baskere og døde nordboer i Herjolfsnæs, Grønland. *Nationalmuseets Arbejdsmark* 1996, s. 75-83.
- Arneborg, J., J. Heinemeier, N. Lynnerup, H. L. Nielsen, N. Rud & Árný E. Sveinbjörnsdóttir: Change of diet of the Greenland Vikings determined from stable carbon isotope analysis and ¹⁴C dating of their bones. *Radiocarbon* 41 nr. 2, 1999, s. 157-168.
- Heier-Nielsen, S., J. Heinemeier, H. L. Nielsen & N. Rud: Recent reservoir ages for Danish fjords and marine waters. *Radiocarbon* 37 nr. 3, 1995, s. 875-882.
- Heinemeier, J., H. L. Nielsen & N. Rud: Kulstof-14 datering med accelerator. *Naturens Verden* 10, 1992, s. 371-379.
- Kieffer-Olsen, J.: *Grav og gravslik i det middelalderlige Danmark. 8 kirkegårdsudgravninger*. Højbjerg 1993
- Krogh, K. J.: *Erik den Rødes Grønland*. København 1982.
- Lanting, J. N. & J. van der Plicht: Wat hebben Floris V, skelet swifterbant S2 en visotters gemeen? (m. engelsk resumé). *Palaeohistoria* 37/38, 1996, s. 491-519.
- : Reservoir effects and apparent 14C-ages. *The Journal of Irish Archaeology* IX, 1998, s. 151-165.
- Lynnerup, N.: The Greenland Norse. A biological-anthropological study. *Meddelelser om Grønland – Man & Society* 24, 1998, s. 1-149.
- Tauber, H.: Stabile isotoper sladrer om forhistoriske kostvaner. *Naturens Verden* 7, 1989, s. 258-265.