

Geologisk Tidsskrift



DECEMBER 2012



Geologisk Tidsskrift udgives én gang årligt af Dansk Geologisk Forening, DGF.

Geologisk Tidsskrift er Dansk Geologisk Forenings (DGF) dansksprogede publikation til bred faglig og populærvidenskabelig formidling til alle med en geologisk interesse. Redaktionskomiteen kan invitere til at skrive om et særligt aktuelt emne, men opfordrer alle til at indsende et manuskript der egner sig til bred faglig formidling. Forfattere med ideer til særnumre, er derfor meget velkomne til at henvende sig redaktøren. Tidsskriftet indeholder endvidere bestyrelsens årsberetning.

Se www.2dgf.dk/publikationer/geologisk_tidsskrift for adresse samt forfattervejledning.

Redaktion: Merete Binderup (GEUS).

Redaktionskomite: DGF's bestyrelse.

Ansvar for artiklernes videnskabelige indhold påhviler udelukkende forfatterne.

ISSN: 2245-7097

@ Dansk Geologisk Forening

Medlemskab af DGF koster i 2012 kr. 400, studerende dog kun kr. 200 (50 kr. reduktion ved tilmelding af kontingent til BS).

DGF's sekretariat

Dansk Geologisk Forening
Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning
Øster Voldgade 10
1350 København K
E-post: dgfemail@gmail.com

DGF' S hjemmeside: www.2dgf.dk

Forsideillustration: Årøstenen, der ligger på Årø i Lillebælt, er en blok af granit, der måler ca. 3x2x2 meter. Michael Houmark-Nielsen har ved hjælp af 'kosmogen eksponerings-datering' fastslået at den aktive is smeltede væk fra stenen for ca. 17.900 år siden. Herefter har stenen været udsat for permanent stråling. Foto: Michael Houmark-Nielsen.

Hvad fortæller vore store vandreblokke om alderen af det danske istidslandskab: Kosmogen eksponeringsdatering af kæmpesten

AF MICHAEL HOUMARK-NIELSEN

Houmark-Nielsen, M. 2012–12–20. *Geologisk Tidsskrift* 2012, pp. 1–13, ISSN: 2245–7097, København.

At kende alderen af det danske istidslandskabs enkelte dele vil kunne styrke vores viden om kronologien af isfremstød og afsmeltningsdynamik af det Skandinaviske Isskjold (SIS). Men nøjagtig hvornår omkring sidste istids afslutning istidslandskabet blev skabt, er ikke lige til at bestemme. Det skyldes, at landskabet består af en mosaik af tids-forskellige former, der knytter sig til den 'glaciale landskabsserie'. Serien omfatter *smeltevandssletter* afsat i floder mens gletsjerne rykkede frem og hvis dannelse kulminerede under udformningen af *randmoræner*, som efterfulgtes af aflejring af sedimenter i nedsmeltende inaktiv is, der har ført til dannelse af *dødislandskaber* bag den tidligere isrand. Dette betyder, at der er en indbygget aldersforskel mellem de sedimenter, der er aflejret under fremrykningen og de, der knytter sig til den efterfølgende afsmeltning. Hertil kommer, at flere isfremstød fra forskellige egne af Sydsandinavien invaderede det danske område i Sen Weichsel. Dette medførte, at flere lag af istidslandskaber, hvert opbygget af mere eller mindre velbevarede dele af den 'glaciale serie' lå tilbage ved isskjoldets endelige forsvinden.

Hvis aflejringer, afsat af et givet isfremstød, ønskes aldersbestemt, har de gængse dateringsmetoder ikke nødvendigvis den ønskede præcision. Alternative dateringsmetoder som kosmogen isotop datering på gletsjer-transporterede blokke har derfor i stadig større omfang vundet indpas for at tidsfæste forskellige faser af isskjoldets afsmeltning i en højt-opløselig kronologi. Især i vore sydlige nabolande har metoden været brugt til at aldersbestemme særskilte og hurtigt på hinanden følgende isfremstød ved at datere kæmpesten, der findes i tilknytning til særligt markante randmoræner (Fig. 1). Derved bliver det teoretisk muligt at tidsfæste særlige episoder af isafsmeltnings dynamik.

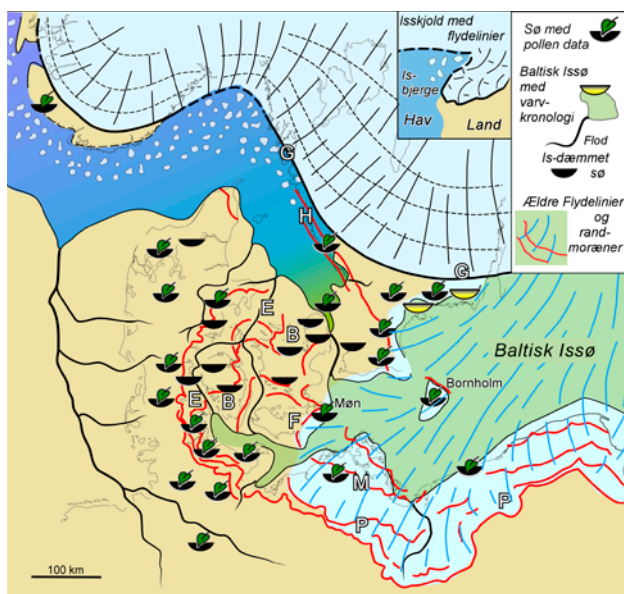
Tyske og polske eksponeringsdateringer af vandreblokke har de seneste år været brugt til at opstille en alternativ aldersfølge for isskjoldets genfremstød under den generelle afsmeltning, der strider imod den

eksisterende kronologiske model. Således skitseres en gletsjerkonfiguration, hvor det sydvestligste Skandinavien var uden isdække og hvor den lav-arktiske dværgbuskhede indvandrede, alt imens en isstrøm gennem Østersøen havde nået det østligste Danmark til Falster og Møn, det østlige Skåne, dækkede Bornholm og fortsatte ned i Mecklenburg og Pommern Rinterknecht et al. 2010; Heine et al. 2009) (Figur 2). Dette kræver en helt særlig isdynamik, som ikke er publiceret siden De Geer (1928) fremkom med sin kontroversielle model for isskjoldets afsmeltning og som efterfølgende ikke har kunnet rekonstrueres via moderne isskjoldsmodeller (Boulton et al. 2001; Stokes & Clark 2001; Hagdorn 2003). Taget for pålydende betyder eksponeringsdateringerne syd for Østersøen, at det Pommerske israndsstadie og afsmeltningsstadier herfra har en alder på 14,0 – 14,5 tusind år, hvilket er mere end 4.000 – 5.000 år yngre end hidtil antaget og betyder at de ikke kan være samtidige med randmorænerne i det østlige Jylland, Bælthavet og Slesvig-Holsten (Rinterknecht et al. 2005, 2006a). Publikation af de første resultater fra de Pommerske randmoræner i tidsskrifter som *Boreas* og *Science* affødte en polemik med kommentarer og diskussion af den nye kronologi set i lyset af en 'sydskandinavisk' afsmeltnings-



Fig. 1. Svantestenen (nr. 14) beliggende på toppen af Møns Klint, en randmoræne dannet under det yngste isfremstød i Danmark i Sen Weichsel vist i Fig. 2.

kronologi opbygget over det seneste tiår (Houmark-Nielsen et al. 2006). Et gensvar indeholdt bl.a. en opfordring til ikke at stole for meget på konventionel lærdom og til at afprøve metoden i Danmark (Rinterknecht et al. 2006b). Således tilskyndet blev der de efterfølgende år udført kosmogen isotopdatering på det isskurede bornholmske grundfjeld og kæmpesten fra det meste af Danmark. Tidsrummet for hvornår vandreblokkene fandt deres endelige leje blev fastslået og resultaterne blev efterfølgende testet mod en uafhængig sydiskandinavisk kronologi for isskjoldets afsmeltning. Eksponeringsaldrene fra Danmark og vore sydlige nabolande viste sig stort set at være identiske, som forudsagt i gensvar fra Rinterknecht et al. (2006b), men tolkningen af dem har ikke ført til nogen enighed, og har de seneste år stadig været genstand for en stedse mere intens debat (Houmark-Nielsen et al. 2010). Det er resultaterne og tolkningen af de kosmogene isotopdateringer i Danmark, der skal behandles i denne artikel.



Figur 2: Paleogeografisk rekonstruktion af Sydiskandinavien og den vestlige Østersø for omkring 15.000-14.000 år siden efter Houmark-Nielsen et al. (2006, 2012), Lundqvist & Wohlfarth (2001), Möller (2010). Kortet viser fordelingen af land, hav og isskjold. Blå streger angiver flyderetning og udbredelse af antageligt samtidige isstrømme i Østersøen efter Rinterknecht et al. (2005, 2006, 2010) og Heine et al. (2009). Med røde linjer er vist fremtrædende randmoræner. E: Østjyske fremstød, B: Bælthav stadiet, P: Pommern stadiet, M: Mecklenburg stadiet, F: Falster – Møn stadiet, H: Hallands kystmoræner, G: Göteborg morænerne.

Kæmpesten og tidens tand

Ved sidste istids slutning lå landet overstrøet med sten og blokke i alle størrelser. I de få områder hvor stenstrøninger stadig er bevaret i det moderne kulturlandskab, kan man stadig få en fornemmelse af tætheden af dem i det senglaciale landskab (Fig. 3). Men siden vi blev bofaste begyndte udtynding i mængden af vandreblokke i Danmark for alvor at tage fat. Byggeriet af neolitiske gravmonumenter, stendysser og jættestuer og senere opstilling af runesten f. eks. Jelling Stenene har tyndet godt ud i bestanden. At dømme efter det store antal smukke middelalderkirker bygget af tilhuggede kvadre især i Jylland, må mængden af kæmpesten her stadig have været anseelig for et lille årtusinde siden. I nyere tid og især efter industrialiseringen har behovet for skærver til byggematerialer, veje og jernbaner yderligere decimeret mængden, og med genforeningen 1920 overgik et stort antal af de tiloversblevne kæmpesten til mindesmærker opstillet i selv de mindste landsbyer. Mennesket har gennem tiden tilsyneladende ikke kunnet lade kæmpestenene være i fred, men i dag er langt hovedparten af danske kæmpesten, der har ligget urørt i terrænet siden istiden, omfattet af fredning (Fig. 3). Nogle sten har stor kulturhistorisk bevågenhed på grund af helleristninger eller historiske spor, men hovedparten har, fordi der knytter sig sagn til de enkelte sten. I et stort registreringsarbejde fra begyndelsen af det tyvende århundrede (Schmidt 1933) omtales mere end 3000 danske kæmpesten. Små hundrede år senere var hovedparten af disse ifølge Lidegaard (1994) enten forsvundet, flyttet fra deres oprindelige plads eller ødelagt. Om Lidegaard's ca. 550 kæmpesten kunne kun en mindre del siges ikke at være flyttet fra deres oprindelige leje. At både Schmidt og Lidegaard udførligt beretter om de sagn, der knytter sig til hver kæmpesten, kan i anden sammenhæng være en stor kilde til morskab og viden om tidligere tiders tankegang.

Projekt: Aldersbestemmelse af vandreblokke i Danmark

Med støtte fra Carlsbergfondet gik projekt: *Aldersbestemmelse af vandreblokke i Danmark, Kosmogen ¹⁰Be nedslagskronologi og gletscherudbredelse i Pleistocæn* i gang i 2007. Projektet omfattede både en lang og en kort kronologi. Den langvarige er lavt opløselig og spænder over Saale og Weichsel istiderne dvs. de seneste små 150.000 år, som vist i Figur 1. Den 'korte kronologi' er mere højt opløselig og dækker begivenheder i forbindelse med den seneste afsmeltning for 20.000 til 15.000 år siden. Når det gælder den 'lange

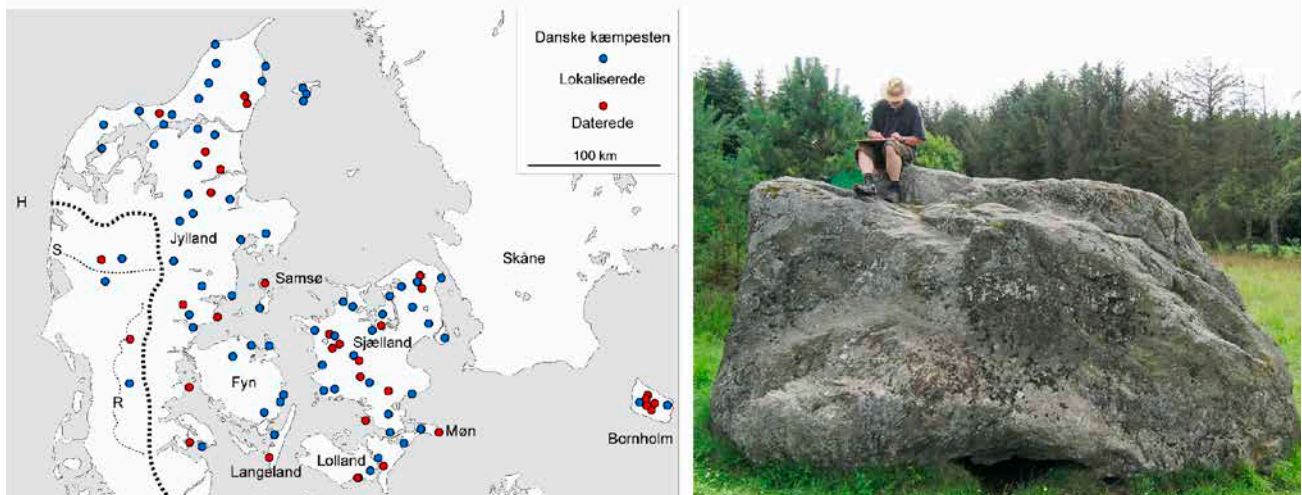


Figur 3: Venstre: Stenstrøning, Østligste Lolland. Skala: 20 cm inddeling på målestok. I forgrunden den fredede "Knækkeryggstenen", der ikke kunne prøvetages på grund af de folkesagn der knytter sig til netop denne sten. Skala 40 cm. Højre: Djævlestenen (nr. 19). Ensomt beliggende "kastesten" fredet på grund af sagn, der knytter sig til stenen. >2 m høj, Ruds Vedby, Sjælland.

kronologi', er der opstillet en nedisningsmodel for den yngre del af sidste istid ved hjælp af bl.a. luminescensdatering (Houmark-Nielsen 2008, 2010; Larsen et al. 2009). Det billede af gletsjernes udbredelse i tid og rum, der tegner sig ud fra de senere års forskning ses i Figur 4. Det vestlige Jylland blev sidst isfrit efter forrige istid Saale for ca. 140.000 år siden. Et smalt område i det nordlige Vestjylland var dækket af Sundsøre-fremstødet tidligt i Mellem Weichsel for ca. 65–60.000 år siden (Fig. 4, S), mens det centrale Sydvestjylland var dækket af Ristinge-fremstødet senere i Mellem Weichsel for omkring 60–50.000 år siden (Fig. 4 R). Med hensyn til den korte kronologi ses, at det nordlige og østlige Jylland øst for Hovedstilsstandslinjen samt øerne og Bornholm blev isfrit sidste gang i Sen Weichsel (Fig. 4, H).

For bestemmelse af tidspunktet for udsmelting af isskjoldet skal vandreblokkene være *in situ*, hvilket vil

sige, at de skal befinde sig på deres oprindelige plads uden senere at have været vendt, rejst op eller flyttet. Det har derfor medført et større detektivarbejde at finde og udpege egnede kæmpesten. Sammen med ikke publiceret registrering udført af Skov- og Naturstyrelsen i slutningen af 1900-tallet har Schmidts og Lidegaards optegnelser været værdifulde til udpegnen af egnede sten. Her findes vurdering af størrelse og angivelse af om stenene er jordfaste, men ikke mindst fordi lokalisering af hovedparten af dem er ret nøjagtig. Også hvor stenenes nyere historie er omtalt, er bemærkninger som "der skulle hele tolv af sognets stærkeste karle til at løfte stenen" brugbare, hvilket har betydet, at en sådan sten muligvis har været vendt eller flyttet og derfor er potentielt uegnet til datering. En anden kilde til lokalisering og vurdering af stens egnethed og ejerforhold har været Kulturarvsstyrelsen internetbaserede liste over fund og fortidsminder i



Figur 4: Venstre: Lokaliserede og daterede kæmpesten. Isstrømmenes ydergrænse efter Houmark-Nielsen (2008) og Larsen et al. (2009); H: Hovedfremstødet (22.000 - 20.000 år), R: Ristinge Isstøm (60.000 - 50.000 år), S: Sundsøre Fremstød (70.000 – 60.000 år). Højre: Janum Kjøt (nr. 37), Fjerritslev, Han Herred.

Danmark. Det har betydet at kæmpesten med kulturspor som f. eks. helleristninger har kunnet frasorteres. Da de fleste andre kæmpesten i Danmark også er fredede på grund af de folkesagn, der knytter sig til dem, blev ansøgning om prøvetagning indgivet til Kulturarvsstyrelsen. I projektets første fase blev der ansøgt om tilladelse til udtagning af bjergartsprøver fra ca. 60 kæmpesten fra Jylland, Øerne og Bornholm. Desuden ansøgte om prøvetagning af det bornholmske grundfjeld af metodiske grunde, nemlig for at se hvorvidt grundfjeldet og vandreblokkene på øen ville give enslydende aldre.

Under forudsætning af at sporene efter indgrebet skulle være så lidt synlige som muligt, gav Kulturarvsstyrelsen primo 2007 beredvilligt tilladelse til prøvetagning, dog med den klausul at "prøverne ikke må udtages fra de spor på stenene, som er nævnt i sagnene. Det kan dreje sig om trolde / hekses fingeraftryk, negle, strømpebånd, sæde, hulning efter lynnedslag m.v.". Efter at have opsporet på hvis jord de udpegede kæmpesten ligger, blev ejerne kontaktet med henblik på at opnå tilladelse til prøvetagning. Da ingen private eller offentlige jordejere har afstået fra at give tilladelse, udførtes første 'besøgsrunde' til potentielt egnede kæmpesten, som vist i Figur 4.

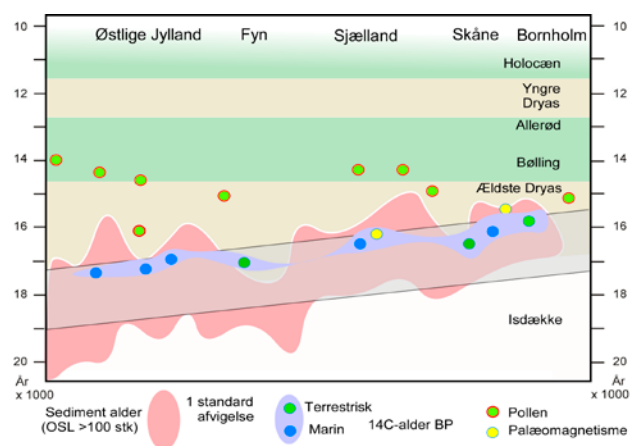
Her foregik den egentlige fagligt geologiske vurdering af egnethed, der kræver den rette mineralogiske sammensætning og en flade til prøvetagning eksponeret direkte mod hele verdensrummet, således at stråling fra alle retninger både horisontalt og vertikalt uhindret har kunnet nå frem. Der må derfor ikke være afskærmning eller læ fra andre dele af stenen eller det omgivende terræn. Sten på strandflader eller beliggende i erosionsdale har heller ikke kunnet anvendes, da de må formodes at være skredet eller rullet ud af deres oprindelige leje.

En aldersmodel for isskjoldets afsmeltning

For at bedømme hvor egnet kosmogen eksponering er til at angive tidsrummet for landskabernes dannelse og de aktive gletsjeres forsvinden fra Danmark ved slutningen af sidste istid, har de kosmogene dateringer skullet sammenlignes med en uafhængig kronologi for deglaciationen. Denne baserer sig på et bredt spektrum af velafprøvede metoder, der, selvom de hver i sær har større eller mindre indbyggede usikkerheder ($\leq 10\%$) tilsammen danner et robust grundlag for en aldersmodel for isskjoldets afsmeltning i Sydskandinavien. Aldersmodellen (Fig. 5) er en sammenstilling af danske og svenske kronologiske studier (Lundquist & Wohlfarth 2001; Kjær et al. 2006; Houmark-Nielsen 2007, 2008, 2010; Aaris-Sørensen,

2009; Larsen m.fl. 2009, 2012) og den er indgående sammenfattet i Houmark-Nielsen m.fl. (2012). Først og fremmest bygger aldersmodellen på mere end 100 Optisk Stimuleret Luminescensdateringer (OSL) og kulstof 14 aldersbestemmelser. I forhold til kosmogen eksponeringsdatering fremhæver Lütgens & Böse (2012), at OSL-daterede sedimenter dannet f. eks. i floder og søer foran isskjoldets rand bør være aflejret tidligere end de store sten og blokke fandt deres endelige leje på eller bag ved den tidligere isrand. Indvandring af flora og fauna på de store endemoræner eller i baglandet er desuden foregået med en vis forsinkelse, hvorfor ^{14}C datering af organiske rester vil vise aldre, der er for unge i forhold til randdannelsernes alder. Kulstof 14-dateringer der stammer fra OSL-daterede sedimenter og som kan relateres til den sydøst-svenske varv-kronologi er brugt til at knytte de forskellige kronologier sammen. Korrelation ved hjælp af pollentællinger er brugt til at tidsfæste førsteoptræden af indvandring af den post-glaciale pionerflora. Pollen-kronologien følger den stratigrafiske opstilling af Mangerud m.fl. (1974): Ældste Dryas, Bølling, Ældre Dryas, Allerød, og Yngre Dryas. For at opnå en præcis og moderne tidsfæstelse, er senglacialtidens kronozoner korreleret til de grønlandske iskernes kronologi (Björck et al.1998).

Modellen forudsiger (Fig. 5), at der under den generelle afsmeltning for ca. 19.000 – 17.000 år siden strømmede udløbsgletsjere fra det Skandinaviske Isskjold gennem Østersøen ind over det østlige Danmark og Skåne indtil for knap 15.000 år siden. Isfrem-



Figur 5: Aldersmodel for det Skandinaviske Isskjoldets afsmeltning i Danmark øst for Hovedopholdslinien og Skåne. Modellen bygger på datering af sediment over Hovedfremstødet og de Ungbaltiske fremstøds till aflejringer ved hjælp af OSL (Optisk Stimuleret Luminescens), kulstof 14 datering samt pollen og palæomagnetisk korrelation. Gråt skraveret område viser det mest sandsynlige tidsinterval for den aktive is forsvinden i et snit fra vest til øst.

stødene kendes som de Ungbaltiske Isstrømme, der dannede de store buede randmoræner langs Jyllands østkyst, i Bælterne og på Sjælland med omliggende øer. Tilsvarende isstrømme langs den sydvestlige Østersøkyst gav ophav til de store randmoræner i Slesvig-Holsten, Mecklenburg og Pommern (Houmark-Nielsen & Kjær 2003).

Kosmogen isotop datering

Inden for det seneste årti har det med moderne accelerator-massespektrometri været muligt at udvikle dateringsmetoder baseret på dannelse af kosmogene isotoper i klippeflader, der har været udsat for stråling fra verdensrummet. Kosmogene eksponeringsdateringer kan anvendes på fritliggende kæmpesten eller faststående grundfjeld. Siden isens bortsmeltning har kæmpestenene været udsat for mange former for forvitring og nedbrydning, herunder kosmisk stråling. Det konstante bombardement af partikler fra verdensrummet medfører dannelse af radioaktive isotoper i stenen f. eks. $^{10}\text{Beryllium}$ (^{10}Be) og $^{36}\text{Klor}$ (^{36}Cl), hvis mængde aftager eksponentielt med dybden under overfladen. I samme øjeblik en sten smelter ud af gletsjeren, sættes der med andre ord et urværk i gang, der tæller tiden så længe stenen er eksponeret mod verdensrummet. Da hastigheden hvormed de radioaktive isotoper dannes er kendt, kan tidsrummet fra den første eksponering til i dag beregnes. Da alle egne af landet ikke har været dækket af is på samme tid, vil vandreblokke i ét område teoretisk set have aflejningsaldre, der er forskellig fra naboområdernes. Den flade, der skal aldersbestemmes, skal være fri for spor



Fig. 6: Prøvetagning ved udboring af isskuret grundfjeld, Hammerknuden, Bornholm.

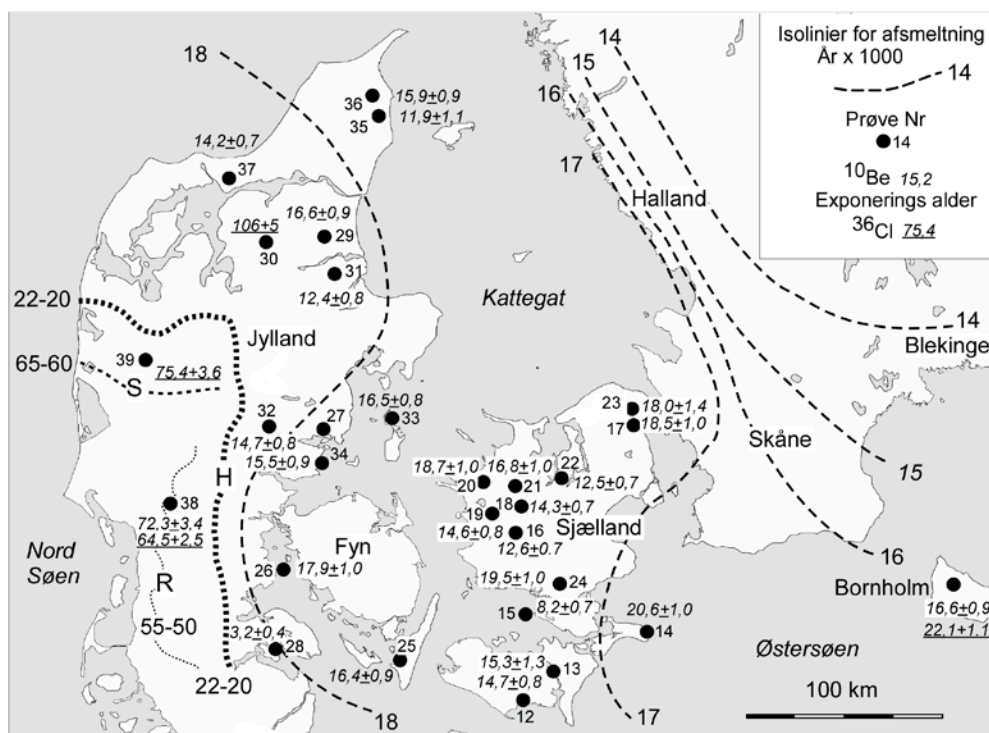
af tidligere eksponering dvs. afhøvlet til en kritisk dybde. Transport i isskjoldet slider blokkernes overflade, så de ideelt set aflejres med uforvitrede og friske, ofte isskurede overflader, der er rensede for effekten af tidligere stråling. Disse forudsætninger er dog ikke altid opfyldt for de enkelte prøver, men over- eller undervurdering af alderen afsløres ofte ved sammenligning af flere prøver fra samme område eller ved sammenligning mellem eksponeringsaldre på isskuret undergrund og kæmpestenenes aldre.

Selve dateringsarbejdet, der omfatter 32 danske kæmpesten og 6 isskurede klippeflader blev udført af dr. Henriette Linge, dels i hendes laboratorium ved Bjerknessenteret for klimaforskning, Universitetet i Bergen, dels ved Scottish Universities Environmental Research Center og University of Glasgow, hvor dr. Linge i samarbejde med anden faglig ekspertise har udført den endelige aldersbestemmelse. Langs størsteparten af dateringerne er udført på ^{10}Be , mens der kun i ganske få tilfælde er brugt ^{36}Cl , enten af metodiske grunde eller fordi bjergartstypen (f. eks. Larvikit) ikke danner ^{10}Be -isotoper. For yderligere beskrivelse og diskussion af disse dateringsværktøjer henvises til Houmark-Nielsen et al. (2012). Indsamlingen foregik juni og august 2007 i det østlige Danmark med en særlig boretteknik, som vist i Figur 6, eller ved afslag med hammer og mejsel. Indsamlingskampagnen afsluttedes i Jylland i 2008 hvorefter laboratoriearbejdet blev udført over en periode på tre år. Herefter blev resultaterne af projektet publiceret internationalt (Houmark-Nielsen et al. 2012).

Resultater

De opnåede eksponeringsaldre er vist i Fig. 7 og i Tabel 1. Her findes desuden oplysninger om stenedens navn, bjergartstype, størrelse og den glacielle landskabstype, hvori de er aflejret. Sammenlignet med den uafhængige aldersmodel træder tre afvigere klart frem. De har enten været flyttet siden aflejringen (nr. 15, Knudskov ved Vordingborg), eller en del af overfladen er sprængt bort (nr. 28, Barstenen ved Dybbøl) eller stenen bærer rundt på ældre eksponering (nr. 30, Gråstenen ved Støvring). Ellers er aldrene i overensstemmelse med de store træk i den isstrømskronologi, der foreligger i dag. Det betyder at sten vest for Hovedstilsstandslinjen og som befinder sig inden for udbredelsen af isdækker fra sidste istid giver aldre fra den tidlige del af Mellem Weichsel (ca. 75.000–ca. 45.000 år), mens de sten der ligger i landskaber bag Hovedstilsstandslinjen fra Sen Weichsel giver aldre fra sidste istids afslutning (ca. 20.000–11.700 år).

Ved nærmere eftersyn afsløres imidlertid, at omkring halvdelen af disse viser aldre der er op til 5.000



Figur 7: Kosmogene eksponerings aldre fra kæmpesten i Danmark plottet mod iso-linier for Weichsel-istidens gletsjer fremstød og afsmeltning. Bornholm er vist med gennemsnit af flere dateringer. (S: Sundsøre fremstød, R: Ristinge fremstød; H: Hovedfremstødet. Afsmeltningsforløbet fra sidste istids afslutning dækker både Danmark øst for Hovedopholdslinien (Efter Fig.5) og det sydlige Sverige (Efter Lundqvist & Wohlfarth 2001; Kjær et al.2006 og Larsen et al.2012).

år for unge i forhold til tidslinjerne for afsmeltningen (Fig. 7). Kæmpestenene er fundet i forskellige glacial landskaber, der omfatter rand-moræne, bund-moræne og dødis-moræne, hvis udbredelse i Danmark er vist af Smed (1981). Flere af stenene befinder sig desuden i en kombination, hvor rand- og bundmoræne overpræges af dødis-moræne. Disse sammensatte landskaber er opstået i slutningen af sidste istid, hvor Danmark var udsat for gentagne nedisninger. De forskellige nedisningers landskaber er ofte lagt oven på hinanden, så ældre landskaber skinner igennem yngre, men hvor nedsmeltning i en stagnerende is-masse, som den sidste landskabsdannende faktor, har sat sit afgørende præg over store arealer. I moderne landskaber præget af dødis er det vist, hvordan et ringe dække af overjord har været i stand til at isolere så effektivt, at den underliggende dødis, afhængigt af klimaet, kan være fra flere 100 år til mange 1000 år om endeligt at smelte (Houmark-Nielsen et al. 1994; Krüger 1994). Dette medfører at sten og blokke bliver afskærmet mod kosmisk stråling, mens de til stadighed omlægges og flyttes rundt i det meget ustabile landskab, hvilket er hovedgrunden til at eksponeringsaldrer kan afvige fra den 'sande' deglaciationsaldrer (Heyman et al. 2011).

Bornholm

For at få et indtryk af hvor effektivt danske kæmpesten måtte være blevet 'renset' for ældre kosmogene isotoper, blev der på Bornholm udtaget prøver både fra

store sten og det isskurede grundfjeld, som blokkene på den nordlige del af øen er aflejret på. De to sæt prøver viser konsistente aldre, der statistisk er sammenfaldende (Fig. 8). Undtagelser herfra er nr. 2: Loklippe (grundfjeld) og nr.7: Springbakke (kæmpesten), som tilsyneladende bærer på små mængder nedarvede isotoper. Prøven med den unge alder (nr. 10: Kløvebæk) viser, at grundfjeldet visse steder kan have været beskyttet mod stråling efter isens bortsmeltning, et forhold der også kan gøre sig gældende for kæmpesten i et ustabil dødispræget istidslandskab. Resultaterne fra de resterende 8 prøver fra hhv. grundfjeld (nr. 1: Opalsø, 4: Hadeborg Bakke, 5: Slamrebjerg og 11: Kælderbakker) og de fjerntransporterede vandreblokke (nr. 3: Dronningestenen (Fig. 8), 6: Krakbakke, 8: Tudehøj og 9: Tyveklipper) gør det sandsynligt, at kun få prøver har nedarvede ^{10}Be -isotoper, og at det derfor må forventes, at kæmpesten i resten af landet også for de flestes vedkommende er fri for nedarvede isotoper. Gennemsnitsalderen for eksponeringsdateringerne på Bornholm ligger på 16.600 ± 900 år.

Når det gælder datering med ^{36}Cl -isotoper (Tabel 1) er aldrerne mere spredte (nr. 2: 23.200 ± 900 år; nr. 3: 21.000 ± 1.300 år og i gennemsnit omkring 5.500 år ældre end ^{10}Be -aldrerne alle usikkerheder taget i betragtning (Fig. 7). Grunden til denne betydelige forskel er ikke udforsket til bunds, men kan være medvirkende til at belyse eventuelle aldersforskelle mellem de to isotoper andre steder i landet.

Aldersbestemmelse vha. ^{10}Be viser, at det meste af

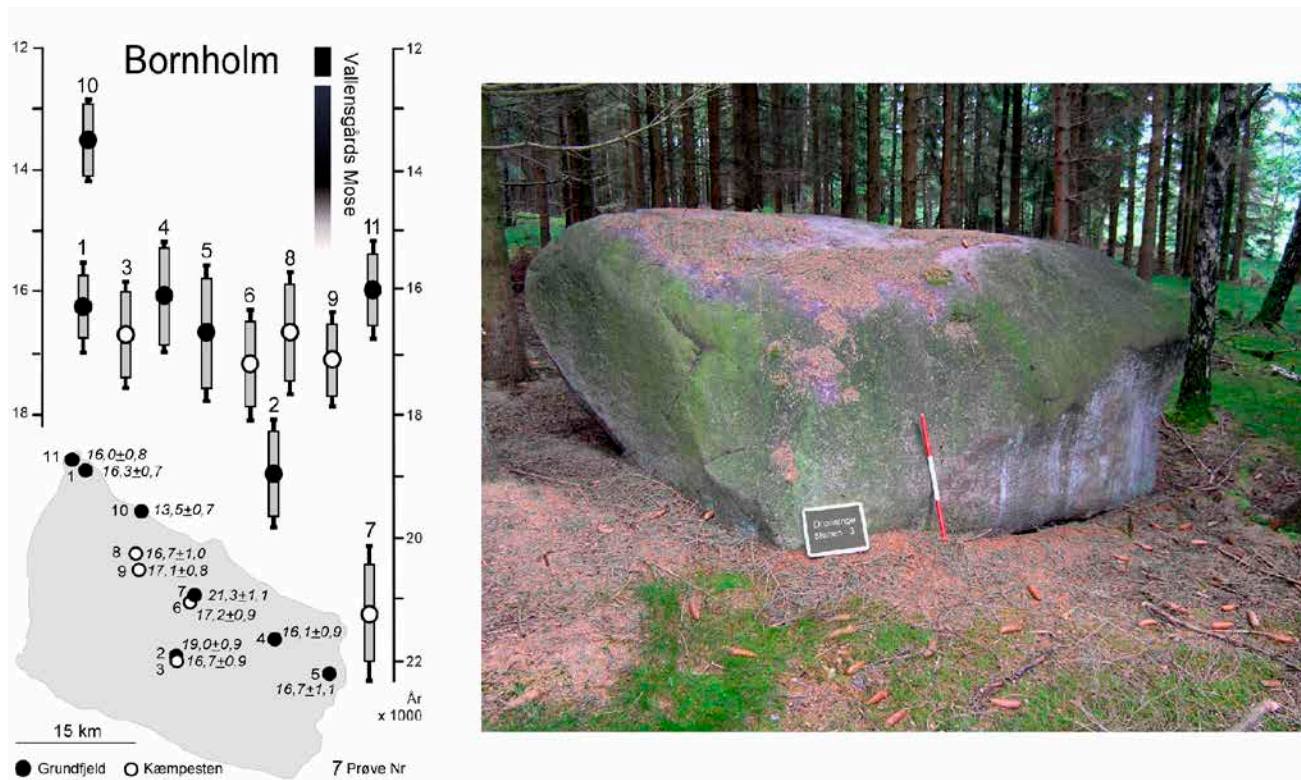


Fig. 8: Venstre: Kosmogene ^{10}Be dateringer fra Bornholm vist som alder med metodisk usikkerhed (grå bred barre) og statistisk usikkerhed (sort tynd barre). Bornholm blev isfrit og eksponering af klippeflader og kæmpesten begyndte for ca. 16.600 ± 900 år siden, og kun kort tid efter indledtes sedimentationen i Vallensgårds Mose. Højre: Dronningestenen (nr. 3), Loklippe, Ekkodalen, Bornholm. Målestok 60 cm.

Bornholm synes at være smeltet fri af iskjoldet for omkring for 16.600 ± 900 år siden og i hvert fald ikke meget senere, hvilket er i overensstemmelse med afsmeltningssmodellen (Fig. 7). Dette støttes af undersøgelser fra Vallensgårds Mose syd for Rytterknægten på det midterste af øen (Iversen 1954; Usinger 1978). Pollenstudier antyder nemlig, at aflejring i det tidligere sø-bassin begyndte i den sene del af Ældste Dryas, hvor mængden af pollen fra *Betula*, *Pinus* og *Juniperus* allerede tiltog inden begyndelsen af Bølling Interstadialet (for 14.700 år siden). Aflejring i bassinet foregik med en mindre afbrydelse på overgangen Allerød-Yngre Dryas ind i Holocæn (Fig. 8). Pollenstudierne viser, at søen modtog sediment i et åbent, delvist isfrit landskab for knap 15.000 år siden under Grønland Interstadial (GS) 2a (16.000–14.700 år; Björck et al. 1998).

Det centrale Danmark

Bortset fra de tre afvigere med Tidlig Weichsel- og Holocæn alder omtalt ovenfor, viser alderne for 22 kæmpesten i den del af landet, der var dækket af iskjoldet i Sen Weichsel, at eksponering begyndte for mellem 21.000 og 11.000 år siden (Fig. 9). De 2 blokke

med højeste alder (nr. 14: Svantestenen (Fig. 1) og nr. 24 Manglestenen) bærer sandsynligvis på nedarvede isotoper, mens de 2 næstældste (17: Kastestenen fra Nødebo & 20: Pandekagestenen) måske også i nogen grad har spor fra tidligere eksponering, selvom de statistisk ligger inden for aldersmodellens tidsinterval. Af de resterende 18 har kun 5 aldre, der ligger inden for tidsrummet for den aktive is' forsvinden jfr. Figur 7 (nr. 21: Firetøndestenen; nr. 23: Pengestenen; nr. 25: Søstenen; nr. 26: Årøstenen (Fig. 9) og nr. 33: Dyvelstenen (Fig. 11). De 13 tiloversblevne er helt op til 5.000 år yngre end forudsagt i aldersmodellen for isens afsmeltning. Det betyder at disse sten fandt deres endelige leje efter den aktive is forsvinden og først da, blev de udsat for permanent stråling, der satte det kosmiske ur i stenenes overflade i gang. De 6 kæmpesten, der aldersmæssigt hører til i Ældste Dryas, Bølling og Allerød, er fundet i landskaber, der enten er bundmoræne (nr. 34: Ståstenen), randmoræne og bundmoræne overpræget af dødislandskab (nr.12: Høvængestenen, nr. 13: Gretes Trone, 29: Barsmosestenen, og nr. 36: Den Grå Ko, 37: Janum Kjød) eller rene dødismoræner (nr. 18: Kastestenen ved Juliedal, nr. 19: Djævelstenen (Fig. 3), nr.32: Havrum Søsten (Fig. 11). Sten med aldre fra Yngre Dryas findes i bund- og randmoræner overpræget af dødislandskab (nr. 31: Kåtstene

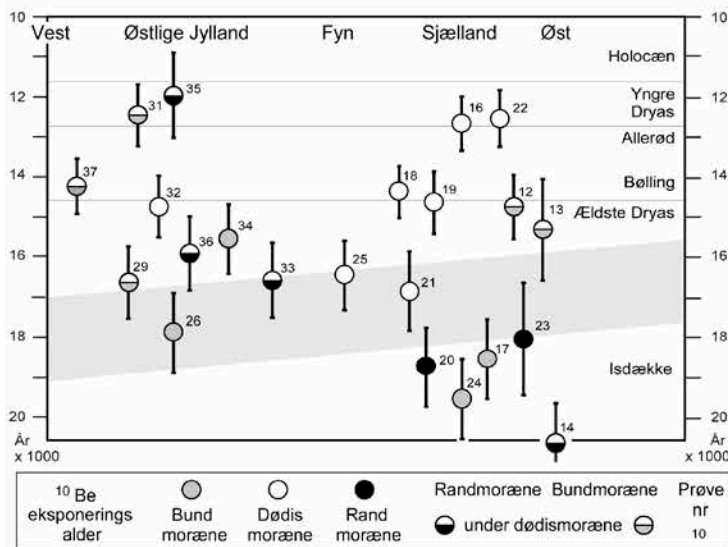


Fig. 9: Venstre: Kosmogen ^{10}Be eksponerings datering af kæmpesten i det centrale Danmark og tilhørende glacielle landskabsformer. Alder er afbildet som cirkel med angivelse af den statistiske usikkerhed. Aldrene er vist i forhold til det sandsynlige tidsinterval for den aktive is' forsvinden (Fig. 5). Få kæmpesten synes at have en mindre del ned arvede isotoper, mens aldre på sten fundet i dødislandskaber kan ses op til 5.000 år yngre end forudsagt af afsmeltningmodellen i Fig. 7. Højre: Årøstenen (nr. 26), sydlige Lillebælt. Målestok 60 cm.

og nr. 35: Troldestenen) eller fra rene dødismoræner (nr. 16: Ligstenen og nr. 22: Sagnstenen ved Ejby). Resultaterne fra den centrale del af landet viser, at de sten der er yngre end aldersmodellen alle i større eller mindre grad er knyttet til dødislandskaber, hvorfor de fortæller en historie om uds melting i et ustabil istidslandskab præget af arealnedsmelting. Derfor kan de ikke anvendes til at fastlægge tidspunktet for dannelsen af eventuelle rand- eller bundmoræner tilhørende bestemte isfremstød.

2.500 år. Med ^{10}Be aldre, der er betydeligt højere end den forventede, og som også overstiger ^{36}Cl alderen, må flere faktorer ligge til grund for disse forskelle. Der kan være tale om metodiske forskelle mellem de to isotoper, der ikke er udforsket til bunds. Desuden kan forskellen mellem den forventede alder og ^{10}Be aldre skyldes, at prøvetagning ikke er udført på selve toppen af stenen, da der her findes helleristninger. Datering er foretaget på det stykke af toppen, som blev bortsprængt i midten af 1800 tallet, og som nu ligger for foden af stenen. Selvom det var muligt at se hvordan sprængstykket passede i hullet på toppen af

Det vestlige Jylland

Kun 2 sten blev fundet egnet til datering i denne yderst stenfattige egn af landet. Begge daterede sten er fundet inden for den formodede udbredelse af to isstrømme, der ramte det danske område i begyndelsen af Mellem Weichsel (Fig. 4) og datering viser da også at de er aflejret i denne del af sidste istid. Imidlertid er eksponeringsaldrene 10 % - 20 % for gamle sammenlignet med uafhængige dateringer (Fig. 7). Kæmpestenen, der ligger indenfor Sundsørefremstødets udbredelsesområde (nr. 39: Mørupstenen) har ^{36}Cl alder på 75.600 ± 3.300 år hvilket er noget ældre end forventet. Da ^{36}Cl datering på Bornholm viser højere aldre end ^{10}Be , kan aldersforskellen i Vestjylland skyldes samme ikke kendte faktorer.

På Ristinge Isstrømmens randmoræne Tirslund Bjerge mellem Brørup og Holsted ligger en kæmpesten (nr. 38: Tirslundestenen, Fig. 10) hvis ^{10}Be alder er på 72.300 ± 3.400 år og som har en ^{36}Cl alder på $64.500 \pm$



Fig. 10: Tirslundestenen (nr. 38) ligger på en randmoræne fra Mellem Weichsel mellem Brørup og Holsted. Hullet i toppen af stenen skyldes bortsprængning, sprængstykket ligger for foden af stenens anden side. Skala 60 cm.

stenen, kan det være, at den udtagne prøve er taget fra et sted der alligevel ikke har modtaget det fulde kosmiske bombardement siden aflejringen, hvilket vil medføre overvurdering af alderen. Det må derfor konkluderes, at Tirslundestenen enten har nedarvede isotoper fra tidligere eksponering, eller at prøven ikke er taget i den del af sprængstykket der har siddet helt i toppen af stenen.

Det må konkluderes, at datering af 2 sten i Vestjylland ikke giver statistisk belæg for at aldersbestemme Isfremstødene i Mellem Weichsel ved hjælp af kosmogene isotoper, men på den anden side er alderne ikke i modstrid med den nedslingskronologi, der er opnået af anden vej.

Kosmogen isotop-datering og landskabernes alder

Resultaterne af de kosmogene ^{10}Be -dateringer viser, at langt hovedparten af kæmpestenen i det centrale Danmark og Bornholm blev aflejret fra det Skandinaviske Isskjold i Sen Weichsel (ca. 25.000 – 11.700 år) og at alderne adskiller sig signifikant fra de par sten fra den del af Vestjylland, der senest var dækket af is i den ældre del af Mellem Weichsel (ca. 65.000 – 50.000 år).

Afsmeltningskronologien for Sen Weichsel viser, at den aktive is som det første forlod Østjylland for ca. 19.000 år siden, derefter Sjælland for ca. 17.000 år siden og til slut Bornholm for hen ved 16.500 år siden. Et fåtal af de kosmogene aldre af kæmpestenen i det østlige Danmark med undtagelse af Bornholm ligger tæt op af disse aldre (nr. 33: Dyvelstenen, Fig. 11). Andre er fra nogle få 1000 år (nr. 32: Havrum Søsten, Fig. 11) eller helt op til 5000 år yngre (nr. 31: Kåtstenen; nr. 35: Troldestenen) end forudsagt i aldersmodellen. Dette kan forklares ved forsinket eksponering i forbindelse

med at stenene har befundet sig i et ustabil miljø præget af vedvarende omlejring, hvilket betyder, at deres aldre derfor ikke afspejler afsmeltning af den aktive is, men senere begivenheder nemlig da stenene endelig blev jordfaste efter nedsmeltning af dødisen. Da afsmeltningsdynamikken i områderne syd for Østersøen ikke kan forventes, at have været væsentlig anderledes end i Danmark og Skåne, er det derfor sandsynligt, at kosmogen eksponeringsdatering med tilsvarende aldre fra Nordtyskland og Polen, heller ikke afspejler tidspunktet for dannelsen af de store randmoræner og dermed større isfremstød, men også har været underlagt en ustabil periode indlejret i smeltende dødis. På trods af tidligere opfordring (Rinterknecht et al. 2006b), har det ikke kunnet sandsynliggøres at aldersmodellen for afsmeltning i Sydskandinavien, som den er vokset frem over de seneste årtier, har overvurderet alderne af forskellige israndstadiet og – fremstød. Dette støttes af de nyeste skud på stammen af vidnesbyrd om afsmeltningskronologien i Sydskandinavien (Larsen et al. 2012; Anjar 2013). Desuden viser nye sammenlignende dateringer fra den østlige del af Nordtyskland (Lüthgens et al. 2011; Lüthgens & Böse 2012) det samme billede som i Danmark. Luminescensdatering af smeltevandssedimenter i floddale, der udgår fra de nordtyske randmoræner, viser aldre på 18.000 – 16.000 år, mens eksponeringsdateringer på kæmpestenen i randmorænerne er yngre og viser en betydelig spredning, som følge af forsinket udsmeltning fra dødis.

Isskjoldets gradvise forsvinden fra det danske område foregik i flere tempi, nemlig ved gentagne mindre fremstød, der hver gang ikke nåede så langt frem som det forrige. Dette ses meget tydeligt i de druknede glacielle landskabsformer (randmorænebuier) i Storebælt. Herved blev store arealer med is fra 'genfremstødene' successivt afsnøret fra isskjoldet, for at ligge tilbage som inaktiv dødis. Langs flere af vores promi-



Fig. 11. Venstre: Dyvelstenen (nr. 33), Nord Samsø. Højre: Havrum Søsten (nr. 32), Havrum Sø, Horsens. Målestok 60 cm.

nente randmoræner kan det ses, at der oven på og bagved den kerne af foldede og opskudte flager, der afspejler den aktive is dannelse af israndsbakkerne, er påklippet et landskab bestående af dødisformer fra den efterfølgende nedsmeltning (Houmark-Nielsen 2010, 2011; Krüger 2006). Ligeledes kan store dele af de moræneflader, der blev dannet ved basis af den flydende gletsjer, være dækket af et slør af dødisformer. Derfor har udstrakte områder ved sidste istids slutning ligget hen som dødisområder, hvilket bl.a. er vist af Smed (1982). Det kan derfor konkluderes, at aldersbestemmelse af kæmpesten ved hjælp af kosmogen eksponerings datering afspejler et spektrum af begivenheder lige fra dannelsen af store randmoræner og fri-smeltning af moræneflader i midten af Sen Weichsel til bortsmeltning af den sidste dødis ved indgangen til vores nuværende varmetid, Holocæn. De danske aldersbestemmelser viser imidlertid et potentiale for at skelne aldrene på landskaber, der var udsat for nedisning under de forskellige faser af Weichsel og Saale istiderne, hvis ellers der er egnede kæmpesten til stede.

Adresse

Michael Houmark-Nielsen, Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K (michaelhn@snm.ku.dk)

Litteratur

- Aaris-Sørensen, K. 2009. Diversity and dynamics of the mammalian fauna in Denmark throughout the last glacial-interglacial cycle, 115–0 ka BP. *Fossils and Strata* 57, 1-59.
- Anjar, J. 2013: The Weichselian in southern Sweden and southwestern Baltic Sea: glacial stratigraphy, palaeoenvironments and deglacial chronology. Ph. D. thesis, Department of Geology, Quaternary Sciences, Lunds Universitet, 20 pp.
- Björck, S., Walker, M.J., Cwynar, L.C., Johnsen, S., Knudsen, K-L., Lowe, J.J., Wohlfarth, B. and INTIMATE members 1998. An event stratigraphy for the Last Termination in the North Atlantic region based on the Greenland ice-core record: a proposal by the INTIMATE group. *Journal of Quaternary Science* 13, 283-292.
- Boulton, G.S., Dongelmans P., Punkari M., Broadgate M. 2001. Palaeoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. *Quaternary Science Reviews* 20: 591-625.
- Bremer, A.C. 1990. En sedimentologisk og geokemisk undersøgelse samt magnetostratigrafisk datering af en sen Mellem-Weichsel issøaflejring i Istedbjerglergrav, NV-Sjælland. Dansk Geologisk Forening, Årsskrift for 1987-1989, 49-54.
- De Geer, G. 1928: Dating of the Gothiglacial Ice-Recession in Scanodania. Extrait du Compte Rendu de la Reunion Géologique Internationale á Copenhague 1928. 4s & 7 figurer.
- Hagdorn, M. 2003: Reconstruction of the Past and Forecast of the future European and British Ice Sheets and Associated Sea-Level Change. University of Edinburgh, *Earth Science PhD thesis collection*, <http://hdl.handle.net/1842/433>
- Heine, K., Reuther, A.U., Thieke, H.U., Schulz, R., Schlaak, N., Kubik, P.W. 2009. Timing of Weichselian ice marginal positions in Brandenburg (north-eastern Germany) using cosmogenic in situ ¹⁰Be. *Zeitschrift für Geomorphologie* 53, 433-454.
- Houmark-Nielsen, M. 2007. Extent and age of Middle and Late Pleistocene glaciations and periglacial episodes in southern Jylland, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 55, 9-35.
- Houmark-Nielsen, M. 2008. Testing OSL failures against a regional Weichselian glaciation chronology from south Scandinavia. *Boreas* 37, 660-677.
- Houmark-Nielsen, M., 2010. Extent, age and dynamics of Marine Isotope Stage 3 glaciations in the southwestern Baltic Basin. *Boreas* 39, 343-359.
- Houmark-Nielsen, M., Hansen, L., Jørgensen, M.E., Kronborg, C. 1994. Stratigraphy of a Late Pleistocene ice-cored moraine at Kap Herschell, Northeast Greenland. *Boreas* 23,505-512.
- Houmark-Nielsen, M., Linge, H., Fabel, D. & Xu, S. 2010: Cosmogenic exposure dating of boulders and bedrock in Denmark: wide range in ages reflects dependence of post-depositional stability related to specific glacial landforms. *Geophysical Research Abstracts Vol. 12, EGU2010-8968, EGU General Assembly 2010*.
- Houmark-Nielsen, M., Linge, H., Fabel, D., Schnabel, C., Xu, S., Wilcken, K.M & Binnie S. 2012: Cosmogenic surface exposure dating the last deglaciation in Denmark: Discrepancies with independent age constraints suggest delayed periglacial landform stabilisation. *Quaternary Geochronology* 13, 1-17.
- Heyman, J., Stroeven, A.P., Harbor, J., Caffee, M.W. 2011. Too young or too old: Evaluating cosmogenic exposure dating based on an analysis of compiled boulder exposure ages. *Earth and Planetary Science Letters* 302, 71-80.
- Iversen, J. 1954. The late-glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil. *Danmarks Geologiske Undersøgelse II* 80, 87-119.
- Kjær, K., Lagerlund, E., Adrielsson, L., Thomas, P. J., Murray, A., Sandgren, P. 2006. The first independent chronology for Middle and Late Weichselian sedi-

- ments from southern Sweden and the Island of Bornholm. *Geologiska Föreningen i Stockholm, Förhandlingar* 128, 209-220.
- Krüger, J. 1994. Glacial processes, sediments, landforms, and stratigraphy in the terminus region of Myrdalsjökull, Iceland. *Folia Geographica Danica* 21, 1-233.
- Larsen, N.K., Knudsen, K.L., Krohn, C.F., Kronborg, C., Murray, A.S., Nielsen, O.B., 2009. Late Quaternary ice sheet, lake and sea history of southwest Scandinavia: a synthesis. *Boreas* 38,732-761.
- Larsen, N.K., Linge, H., Håkansson, L., Fabel, D. 2012. Investigating the last deglaciation of the Scandinavian Ice Sheet in southwest Sweden with ^{10}Be exposure dating. *Journal of Quaternary Science* 27, 211-220.
- Lidegaard, M. 1994: Danske sten fra sagn og tro. 273 pp. Nyt nordisk forlag, København.
- Lundqvist, J., Wohlfarth, B. 2001. Timing and east-west correlation of south Swedish ice marginal lines during the Late Weichselian. *Quaternary Science Reviews* 20, 1127-1148.
- Lüthgens, C., Böse, M., Preusser, F. 2011. Age of the Pomeranian ice-marginal position in northeastern Germany determined by Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of glaciofluvial sediments. *Boreas* 40, 598-615.
- Lüthgens, C. & Böse, M. 2012: From morphostratigraphy to geochronology – on the dating of ice marginal positions. *Quaternary Science Reviews* 44, 26-36.
- Mangerud, J., Andersen, S.Th., Berglund, B.E. & Donner, J.J. 1974, Quaternary stratigraphy of Norden: a proposal for terminology and classification. *Boreas* 3, 109-127.
- Murray, A.S. & Funder, S. 2003: Optically stimulated luminescence dating of a Danish Eemian coastal marine deposit: A test of accuracy. *Quaternary Science Reviews* 22, 1177-1183.
- Murray, A.S. & Wintle, A.G. 2000: Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32,57-73.
- Murray, A.S., Svendsen, J.I., Mangerud, J. & Astakhov, V.I. 2007: Testing the accuracy of quartz OSL dating using a known-age Eemian site on the River Sula, northern Russia. *Quaternary Geochronology* 2, 102-109.
- Möller, P. 2010: Melt-out and ribbed moraine formation, a case study from south Sweden. *Sedimentary Geology* 232,161-180.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, Ramsey, C.B., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kauer, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D. A., Suthon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. 2009: Calib 0.6, Radiocarbon 51, 1111-1150.
- Rinterknecht, V.R., Marks, L., Piotrowski, J., Raisbeck, G.M., Yiou, F., Brook, E.J., Clark, P.U. 2005. Cosmogenic ^{10}Be ages on the Pomeranian Moraine, Poland. *Boreas* 34, 186-191.
- Rinterknecht, V.R., Clark, P.U., Raisbeck, G.M., Yiou, F., Bitinas, A., Brook, E.J., Marks, L., Zelcs, V., Lunkka, J.P., Pavlovskyaya, I.E., Piotrowski, J.A., Raukas, A. 2006a. The Last Deglaciation in of the Southeastern Sector of the Scandinavian Ice Sheet. *Science* 311, 1449-1452.
- Rinterknecht, V.R., Marks, L., Piotrowski, J. A., Raisbeck, G.M., Yiou, F., Brook, E.J. Clark, P.U. 2006b. 'Cosmogenic ^{10}Be ages on the Pomeranian Moraine, Poland': Reply to Comments. *Boreas* 35, 605-606.
- Rinterknecht, V., Braucher, R., Böse, M., Bourlès, D., Mercier, J.-L., 2010. Late Quaternary ice sheet extents in north eastern Germany inferred from surface exposure dating. *Quaternary Science Reviews*, doi:10.1016/j.quascirev.2010.07.026.
- Sandgren, P., 1986. Late Weichselian palaeomagnetic secular variation from the Torreberga basin, south Sweden. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 43, 160-172.
- Schmidt, A. F. 1933: Danmarks Kæmpesten i Folkeoverleveringen. Danmarks Folkeminder 39 Bd. I & II, 451 pp. Det Schønbergske Forlag, København.
- Smed, P. Landskabskort over Danmark, blad 1, 2, 3, 4. Geografforlaget, Brenderup.
- Stokes, C.R. and Clark, C.D. 2001: Palaeo-ice streams. *Quaternary Science Reviews*, 20, 1437-1457.
- Usinger, H. 1978. Bölling-Interstadial und Laacher Bimstuff in einem neues Spätglazial-Profil aus dem Vallensgård Mose - Bornholm. Danmarks Geologiske undersøgelse, Årbog 1977, 5-29.

Prøve nr	Navn Lokalitet	Landskab	Bjergarts type	Størrelse meter	Lokalisering UTM 32 ED 50	Alder x 1000 år ¹⁰ Be - ³⁶ Cl
Bornholm						
1	Opalsø Hammerkuden, Sandvig	Isskuret Grundfjeld	Granit		N 6141826 E 865949	16.3 ± 0.7
2	Loklippe Ekkodalen, Almindingen	Isskuret Grundfjeld	Gnejs		N 6122615 E 875740	19.0 ± 0.9 <u>23.2 + 0.9</u>
3	Dronningestenen Ekkodalen, Almindingen	Bund moræne	Granit	6x2,5x3	N 6122615 E 875740	16.7 ± 0.9 <u>21.0 + 1.3</u>
4	Hadeborg Bakke Åkirkeby	Isskuret Grundfjeld	Pegmatit		N 6117984 E 877437	16.1 ± 0.9
5	Slamrebjerg Bodilsker, Neksø	Isskuret Grundfjeld	Migmatit		N 6119773 E 888368	16.7 ± 1.1
6	Krakbakke Rytterknægt, Almindingen	Bund moræne	Gnejs	3x2,5x1	N 6122732 E 875462	17.2 ± 0.9
7	Springbakke Vallensgård, Almindingen	Bund moræne	Gnejs	3x3x1,5	N 6122252 E 874775	21.3 ± 1.1
8	Tudehøj Rutsker Højlyng, Rø	Bund moræne	Granit	2,5x1,5x1	N 6133232 E 872130	16.7 ± 1.0
9	Tyveklipper Rutsker Højlyng Rø	Bund moræne	Gnejs	3x2x1,5	N 6133515 E 872791	17.1 ± 0.8
10	Kløvøbæk Bornholms Kunstmuseum	Isskuret Grundfjeld	Gnejs		N 6135747 E 874835	13.5 ± 0.7
11	Kælderbakker Hammekuden, Sandvig	Isskuret Grundfjeld	Granit		N 6141991 E 865322	16.0 ± 0.8
Lolland – Falster – Møn - Sjælland						
12	Høvængstenen Høvænggård Nysted	Dødis - bund moræne	Gnejs	6x9x2,2	N 6061110 E 668767	14.7 ± 0.8
13	Gretes trone Mallelose Nykøbing	Dødis - bund moræne	Granit	3,5x3x0,7	N 6069909 E 688233	15.3 ± 1.3
14	Svantestenen Aborrebjerg Møns Klint	Rand moræne	Granit	3,8x2,5x1,5	N 6098300 E 726382	20.6 ± 1.0
15	Kastesten Knudskov, Vordingborg	End moraine	Vang Granit	3,3x3,3x2,4	N 6105329 E 673123	8.2 ± 0.7
16	Ligstenen Alsted Skov, Sorø	Dødis moræne	Granit	4,2x1,5x1	N 6143377 E 666405	12.6 ± 0.7
17	Kastesten Egelund, Nødebo	Bund moræne	Granit	4x3x2	N 6207150 E 709084	18.5 ± 1.0
18	Kastesten Juliedal, Sorø N	Dødis moræne	Granit Pegmatit	4,7x3,5x1,5	N 6153311 E 664512	14.3 ± 0.7
19	Djævlestenen Reerslev, Ruds Vedby	Dødis moræne	Granit	4,5x4x2	N 6159122 E 651939	14.6 ± 0.8
20	Pandekagestenen Bromølle Skov, Jyderup	Rand moræne	Gnejs	6,6x4x2	N 6166175 E 650250	18.7 ± 1.0

21	Firetønderstenen Vinskoven, Mørkhøv	Dødis moræne	Gnejs	4,5x3,8x2	N 6165089 E 655751	16.8 ± 1.0
22	Sagnsten Ejby Å, Kr. Hyllinge	Dødis moræne	Gnejs	4x3x1,2	N 6175660 E 680402	12.5 ± 0.7
23	Pengestenen Tumlingeving, Gribskov	Dødis – rand moræne	Gnejs	3x3x1	N 6214317 E 709413	18.0 ± 1.4
24	Manglesten Hastrupskov, Bårse-Udby	Bund moræne	Granit	3,5x2,4x2,2	N 6109476 E 687803	19.5 ± 1.0
Langeland						
25	Søstenen Lindelse, Rudkøbing	Dødis - rand moræne	Granit	4x3,8x2,3	N 6084734 E 611156	16.4 ± 0.9
Øst og Nord Jylland						
26	Årøstenen Årø, Lillebælt	Bund moræne	Granit	3x2x2	N 6125206 E 547807	17.9 ± 1.0
27	Heksestenen Dilbjerg, Gylling	Rand moræne	Granit	1,2x1x1	N6194124 E567964	Intet resultat
28	Barstenen Dybbøl, Broager	Rand moræne	Gnejs	9x7x2,7	N 6085231 E548837	3.2 ± 0.4
29	Barsmosestenen Vive – Astrup, Hadsund	Dødis – bund moræne	Gnejs	3,5x2x1	N 6289576 E 562657	16.6 ± 0.9
30	Gråstenen Årestrup, Støvring	Bund moræne	Larvikit	6x5x1,6	N 2937344 E 545680	<u>106.6 ± 4.6</u>
31	Kåtestenen Asferg, Hobro	Dødis - bund moræne	Gnejs	2,8x2x1,3	N 6270335 E 555627	12.4 ± 0.8
32	Havrum Søsten Bøgebalde, Horsens	Dead ice moraine	Granit	5x3x2	N 6187339 E 540298	14.7 ± 0.8
33	Dyvelstenen Nordby, Samsø	Dødis – rand moræne	Granit	3,6x1,5x1	N6204780 E 597273	16.5 ± 0.8
34	Ståstenen Ashoved, Juelsminde	Bund moræne	Gnejs	6x4x2,5	N 6178902 E 566986	15.5 ± 0.9
35	Troldestenen Dronninglund, Vendsyssel	Dødis - rand moræne	Gnejs	4,5x4,5x2	N 6340639 E 578069	11.9 ± 1.1
36	Den grå Ko Dronninglund, Vendsyssel	Dødis - rand moræne	Granit	2,5x2,5x1,2	N 6339820 E 579252	15.9 ± 0.9
37	Janum Kjøt Fjerritslev, Han Herred	Dødis – bund moræne	Granit	5x6,6x2,5	N 6329362 E 526486	14.2 ± 0.7
Vest Jylland						
38	Tirslundstenen Brørup, Holsted Bakkeø	Rand moræne	Gnejs	5x5x4	N 6149578 E 497499	72.3 ± 3.4 <u>64.5 ± 2.5</u>
39	Mørupstenen Mørup, Herning	Bund moræne	Larvikit	8,5x4,5x1	N 6219114 E 494860	<u>75.6 ± 3.3</u>

◀▲ Tabel 1: Kosmogene eksponerings datering af kæmpesten i Danmark

Indhold:

Michael Houmark-Nielsen: Hvad fortæller vore store vandreblkke om alderen af det danske istidslandskab: Kosmogen eksponerings datering af kæmpesten	1
Bestyrelsens beretning 2012.....	36