Geologiske mærkværdigheder: Kritik af en model for det danske istidslandskabs dannelse

MICHAEL HOUMARK-NIELSEN

Houmark-Nielsen, Michael 2003–11–20: Geologiske mærkværdigheder: Kritik af en model for det danske istidslandskabs dannelse. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 1, pp. 1–20, København.

En kontroversiel fremstilling af det danske istidslandskabs opståen og indre opbygning: »*Danmarks Geologiske Seværdigheder*« af Ib Marcussen og Troels V. Østergaard er udkommet på Politikens forlag. Modellen bryder med fundamentale geologiske discipliner og anfægter den gængse opfattelse af centrale emner inden for Danmarks Kvartær. Dens grundlæggende tese er, at istidslandskabet blev dannet ved passiv smeltning af det skandinaviske isskjold i slutningen af sidste istid. Således udelukker »nedsmeltningsmodellen«, at sedimenter i vores israndsbakker findes foldet og sammenskudt ved aktiv istektonisk deformation, og at lagfølger bevaret i randmoræner kan være dannet over lange tidsrum og afspejle et varieret geologisk hændelsesforløb. Tværtimod siger modellen, at bakkedragenes indre er aflejret i isdæmmede søbassiner og smeltevandsfloder oven på det stagnerende isskjold i løbet af ganske kort tid.

En kritisk gennemgang af bogens vigtigste teser, hvor alment tilgængelige data og beskrivelser stilles op mod »nedsmeltningsmodellen« viser, at forfatternes argumenter slet ikke kan retfærdiggøre deres models påståede troværdighed, selvom smeltevand og dødismeltning stadig bærer et stort ansvar for udformningen af istidslandskabet. En analyse af modellen viser også, at Marcussen og Østergaard ikke blot bevæger sig i en faglig gråzone, men direkte vildleder læserne, når de på manglende videnskabeligt grundlag ophøjer udgivelsen af deres hypotese til et kvartærgeologisk paradigmeskift, der med en simpel model skal forklare størstedelen af det danske istidslandskabs ret komplicerede dannelse.

Michael Houmark-Nielsen [*michaelh@geo.geol.ku.dk*], *Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 København K.*

Politikens Forlag har udgivet en guide til vor geologiske fortid, »*Danmarks Geologiske Seværdigheder*« forfattet af Ib Marcussen og Troels Østergaard (2003). Et tilsvarende værk har ikke set dagens lys siden samme forlag udgav Danmarks Natur, bind 1 (Nørrevang & Meyer 1967). Den foreliggende bog bryder med en 100-årig videnskabelig tradition for tolkningen af landskabernes dannelse (Milthers 1900, 1948a, Ussing 1904). Bogen er også et brud med den stratigrafiske kvartærgeologi, der ved studiet af lagfølger og istektoniske strukturer søger at beskrive de forskellige miljøer og nedisningsfaser, som afløste hinanden i Danmark under Kvartærtiden (Rørdam1893, 1909, Andersen 1933, Berthelsen 1978). Bogen præsenterer en ukompliceret og ligetil teori om istidslandskabets dannelse samt dets indre arkitektur, den opstiller en ny og forholdsvis simpel terminologi for landskabsformerne og den forsøger at give et alternativ til den gængse opfattelse af kvartærtidens nedisningsforløb. Ifølge Politikens Forlag kombinerer bogen den nyeste geologiske forskning med en guide til de vigtigste geologiske seværdigheder i Danmark. Hvori denne forskning består fremgår imidlertid ikke, men den kan næppe tilskrives de to forfattere; Markussen og Østergaards teorier bygger nemlig ikke på forskningsresultater, der i sin helhed har været fremlagt og kritisk vurderet et videnskabeligt forum. Med udgivelsen i form af en populærvidenskabelig håndbog forsøger forfatterne på en måde at undvige en faglig afprøvning og diskussion.

Denne artikel kaster et kritisk blik på den kontroversielle fremstilling af Danmarks kvartærgeologi. Det er kun muligt her at berøre de mest centrale emner fra håndbogen, hvorfor nogle læsere vil lede forgæves efter emner, som de finder særligt væsentlige. Således har det ikke været muligt at tage forfatternes revolutionerende teori om tunneldale op. Forfatternes ideer om till- og moræneaflejringers sedimentologi og dannelse er også for omfangsrigt et emne til denne artikel, ligesom ledeblokkes egnethed som redskab til rekonstruktion af isbevægelse.

Marcussen & Østergaard fremsætter den teori, at dannelsen af istidslandskabet var styret af passiv nedsmeltning af ét stort isskjold. Herved forkaster de al-

lerede i forordet den klassiske og gængse opfattelse om dannelsen af randmoræner langs yderkanten af datidens gletschere ved istektonisk foldning og opskydning af forlandets sedimenter, i bogen kaldet »bulldozermetoden«. I bogen afvises eksistensen af moræneflader, der er strømlinede i isens flyderetning og afgrænses af israndsbakker med foranliggende smeltevandssletter – den glaciale serie – der igennem generationer har været beskrevet i lærerbøger. Udpluk af den »såkaldt nye« nedsmeltningsmodel er tidligere fremført af Marcussen (1977), men blev afvist på grund af manglende videnskabelig substans (Berthelsen 1978, 1979a). Tidlige stadier af modellen optræder også i populærvidenskabelige publikationer (Marcussen & Østergaard 1977, 1978), men blev tilbagevist af flere danske kvartærgeologer (Humlum *et. al.* 1978). Håndbogen indgår i en serie af velrenomerede publikationer fra Politikens Forlag, som almindeligvis hviler på et solidt og bredt anerkendt videnskabeligt grundlag. I forordet fremhæves det, at bogen »er skrevet for almindelige mennesker uden særlige forkundskaber« og forfatterne »inviterer læserne til at kaste et uhildet blik på landskaberne for med egne øjne at se, at »bulldozermodellen« ikke kan være rigtig«. Geologer opfordres til at »beskæftige sig med de danske istidslandskaber uden at være bundet af fortidens tolkninger«.

Således motiveret til at gå modellen efter i sømmene vil dens geologiske grundlag og de dragne konklusioner danne rammen om en afprøvning af »nedsmeltningsteorien«. Denne må nødvendigvis inddrage andre vidnesbyrd end de, som bogen sparsomt omtaler – vidnesbyrd der på nær ganske enkelte også må have været til forfatternes rådighed. Det er dog ikke klart, hvilken litteratur der refereres til i forordet, når det gælder inddragelse af »den nyeste viden om klimaforholdene under istiden, om gletschernes fysik og dynamik og om landskabsformerne og istidslagenes sammensætning i tolkning af landskabet«. I litteraturlistens treogtyve populærvidenskabelige titler opgives seks af forfatternes egne. De øvrige omfatter en del lokalitets- og landskabsbeskrivelser skrevet af danske kvartærgeologer, hvoraf størsteparten – uden at dette nævnes – kan ses ikke at støtte forfatternes synspunkter. Denne udeladelse grænser til manipulation, mens forfatterne nøjes med i en til tider overbærende og næsten nedladende tone at afvise den gængse opfattelse.

Nedsmeltningsmodellen

Modellen forsøger at forklare hvordan alle glaciale landskabsformer i Danmark er dannet ved nedsmeltning af ét stort skandinavisk isskjold i slutningen af sidste istid. Efter isens fremrykning fra Mellemsverige og overgang til dødis afsattes i lavninger på isoverfladen smeltevandssedimenter (ler, sand og grus) samt tyngdestrømme kaldet »slamstrømme« (tidligere flyde-moræne). Lavningerne tænkes opstået ved spændinger i isen, som skyldtes ændrede strømningsmønstre, der sandsynligvis var forårsaget af højtliggende kalk i undergrunden mod nordøst, undergrund som isen har måttet flyde uden om. Sedimenter fra issølavninger udgør de såkaldte »storbakker« og »isflodsletter«, som overvejende består af sand og ler samt grus og slamstrømme (Møns Klint, Odsherredbuerne og Molslandet). Imellem disse storformer findes »ribbebakker« (Fyns kystegne, Stevnshalvøen), som hovedregel med en nordvest-sydøstlig orientering i hele landet, og som anses for at være dannet vinkelret på isens fremherskende bevægelsesretning fra nordøst. »Ribberne« formodes dannet ved overskydning mellem aktiv og passiv gletscheris inden isen blev helt stillestående, hvorved materiale fra isens sål blev bragt op til overfladen. Efter isens bortsmeltning lå materialet tilbage som lave rygge i landskabet. Et mindretal af ribbebakkerne er orienteret parallelt med isens bevægelse og denne afvigende retning forklares som opstået ved spændinger i isen.

Forfatterne påpeger, at »det må være på tide at revidere den gamle hypotese« (s. 175). Det anføres, at den gængse teori (bulldozermodellen) ikke fungerer, idet de ikke kan forestille sig hvordan istektonisk oppresning af gletschernes forlandssedimenter til højder over 100 m og med afglidning under nuværende havniveau kan forekomme. Synspunktet må skyldes forfatternes manglende kendskab til den righoldige litteratur, der støtter den istektoniske model for landskabsdannelse både fra dansk side (sammenfattet af Pedersen 2000), men også fra større dele af Nordeuropa og det nordamerikanske kontinent (sammenfattet af Aber *et al.* 1989), områder som forfatterne også tager til indtægt for deres teori. Forfatternes nedsmeltningsmodel har derfor konsekvenser langt ud over vores hjemlige andedams til tider lidt navlebeskuende diskussion. Modellen forudsætter, at det skandinaviske isskjold kun én gang i den sidste istid nemlig for ca. 20.000 år siden bredte sig fra Mellemsverige mod sydvest ind over Danmark og, at isen dækkede hele Danmark og at isranden nåede frem til en linie fra det mellemste Polen, over Elben til Doggerbanken i Nordsøen. At isen i Sen Weichsel skal have dækket hele landet – også vest for Hovedstilstandslinien – afsløres ifølge Marcussen og Østergaard af det såkaldt stenede sand, der ofte dækker de yngste glaciale aflejringer i Vestjylland og de kendte Eemmoser. Forfatterne fremhæver – stik imod den gængse opfattelse – at Danmark ikke var berørt af isstrømme fra Sydnorge eller fra Østersøen umidelbart før og

Fig. 1. Lokaliteter og områder beskrevet af Marcussen & Østergaard (2003), som behandles i denne artikel. Landskabsformer dannet af Hovedfremstødet i Sen Weichsel. H: Hovedopholdslinien strækker sig midt gennem Jylland. Vest herfor findes smeltevandssletter fra Nordøstisen afsat i lavninger mellem bakkeøer, som har fået deres endelige udformning gennem periglaciale processer i Weichsel. Bag Hovedopholdslinien ses NØ–SV rettede strømlinede morænelandskaber skabt under fremrykningen af Nordøstisen. Smeltevandsdale dannet under denne is' afsmeltning med afvanding mod nordvest ses i Nordjylland, sammen med NV–SØ gående israndsstrøg formet under isens generelle afsmeltning. Adskillige af disse i dag overskredne randmoræner kan følges under yngre morænedækker i Østdanmark.

Landskabsformer dannet af det Ungbaltiske isfremstød. Ø: Den østjyske israndslinje løber fra grænsen til Tyskland til Djursland og danner skillelinjen mellem sandede morænelandskaber i Midt- og Nordjylland og lerede, strømlinede moræneflader præget af sten og blokke fra Baltikum dannet af en isstrøm, der fra den vestlige Østersø gled ind over Danmark (fx Østjylland, de fynske kystegne, Sjælland og Lolland–Falster). Foran israndslinjens nordlige del findes i dalene (fx Gudenådalen) aflejringer fra smeltevandsfloder, der har haft afløb til Kattegat. Bælthavfremstødets yderste israndsstilling B, markerer randområder af mindre isstrømme, der til lidt forskellig tid under den Ungbaltiske nedisnings sene faser opfyldte lavningerne omkring Lillebælt, Storebælt og Øresund. Bag fremstødets yderste grænse ses vifteformede randmoræner dannet under afsmeltningen.

Fig. 2. Glacialmorfologisk kort over det østlige Møn med angivelse af to generationer istektoniske deformationsretninger og beliggenheden af to boreprofiler fra Fig. 3. Efter Haarsted (1956), Berthelsen *et al.* (1976), Houmark-Nielsen (1994) og Faurbye (1999).

efter isen der udbredte sig fra Mellemsverige, som det ellers fremgår af den hidtidige litteratur (sammenfattet af Houmark-Nielsen 1999). Ældre nedisninger har heller ikke nået Danmark i Weichsel, idet de tillsedimenter, som hidtil har været anset for vidnesbyrd herom, af forfatterne forklares som lokale slamstrømme. Forfatterne hævder endvidere, at de fremmede sten og blokke som findes i istidsaflejringerne ikke kan være transporteret med gletscheris alene, da de ellers ville knuses ned til stenmel langt inden de nåede Danmark. De fremfører ideen om at flydende isbjerge er ansvarlige for de fleste skandinaviske blokke i danske moræneaflejringer, hvilket er en tilbagevenden til Charles Lyells drivisteori, som ellers blev forladt for mere end 150 år siden.

En diskussion om det stenede sands herkomst, dets stratigrafiske plads og isskjoldets udbredelse i Weichsel samt lokale og fremmede sten og blokkes transport vil blive berørt i det følgende, men først et kritisk blik på et par af Marcussen og Østergaards nøglelokaliteter (Fig. 1).

Det østlige Møn

Mellem Stege Nor og Borrelavningen ligger et bakkeparti omkring Elmelunde (Fig. 2), hvor retninger af dale og rygge er omtrent parallelle med dem i Møns Klints bagland. Marcussen & Østergaard antager at bakkepartiet ligger på en opskudt blok af skrivekridt begrænset af omtrent nord–syd gående forkastninger, ligesom Borrelavningen afspejler en sænkning i kridtoverfladen. Da afsmeltningen af isskjoldet begyndte, dannedes en isdæmmet sø over det hævede skrivekridt, og det påstås at være issøsedimenter herfra, der opbygger de kvartære aflejringer i bakkerne omkring Elmelunde, der benævnes en »isflodslette«.

Boringer fra GEUS's boredatabase viser imidlertid, at kridtoverfladen på det østlige Møn danner en relativ plan flade gennemskåret af op til 10 meter dybe erosionsrender (Fig. 3). Fladen ligger 20–35 m under nuværende havniveau og har et let fald i østlig retning. Skrivekridt, der i boringerne træffes over dette niveau, må derfor betragtes som løse flager, hvilket illustreres tydeligt af lagfølger hvor kvartære dannelser optræder under skrivekridt. Det samme gælder boringerne umiddelbart øst for Møns Klint, der rammer ned i klintens kridtflager. I de lave klinter øst for Klintholm Havn ses adskillige, titals meter store flager af skrivekridt med flintlag indlejret i de kvartære dannelser, et fænomen der kendes fra hele kyststrækningen i Hjelm Bugt (Berthelsen 1978, 1979b, Berthelsen *et al.* 1977, Houmark-Nielsen 1988, 1994, Faurbye 1999). Ud fra boreprofilerne kan det således ikke godtgøres at nutidens terrænformer afspejler strukturer i undergrunden. Det højtliggende kridt som Marcussen og Østergaard refererer til fra boringer ved Elmelunde og Klintholm er efter alt at dømme løse flager af skrivekridt og altså ikke en horst. Boringerne afslører heller ikke en markant lavere liggende kridtoverflade under Borrelavningen. Horst–graben teorien modsiges derfor af geologiske data. Den markante topografi der vises på Danmarks Geologiske Undersøgelses kort over prækvartærfladens højdeforhold i området (Binzer & Stockmarr 1994), og som tilsyneladende ligger til grund for visse af bogens konklusioner, må ligeledes bero på fejltolkning.

Møns Klint og klintens bagland indtil Borrelavningen udgør en række rygge og lavninger, der består af flager af skrivekridt og kvartære aflejringer stablet op af gletscheris. Flagerne hælder mod syd i den sydlige del af klinten og dens bagland og mod nordøst og øst i den centrale og nordlige del af det østligste Møn (Hintze 1937, Aber *et al.* 1989). De kvartære lag består af moræneler overlejret af sandede og grusede aflejringer med omlejrede marine skaller fra Eem mellemistiden, der dækkes af stenfattigt ler og till. Disse lag er deformeret sammen med kridtet, mens tynde lag af sand og moræneler visse steder overlejrer flagerne (Hansen & Nielsen 1960, Marcussen & Østergaard 2003).

Marcussen og Østergaard deler imidlertid ikke den almindelige opfattelse, at flagerne i klinten er stablet sammen af istektoniske kræfter foran en aktivt flydende gletscher, således som data fra felten ellers synes at vise (Slater 1927, Gry 1940, Gripp 1947). De to forfattere fremfører en alternativ hypotese: I forbindelse med isskjoldets nedsmeltning for mindre end 20.000 år siden opstod en lavning i isen netop hvor

Fig. 3. Boreprofiler fra det østlige Møn visende den faststående kalkundergrund (hvid) og flager af skrivekridt i de kvartære aflejringer (grå). Lokalisering se Fig. 2. Data fra GEUS's borearkiv. Bemærk overhøjning 35 ×. De enkelte boringer er angivet med en lodret streg og GEUS's borenummer.

Høje Møn er i dag, på samme måde som det skete omkring Elmelunde. Forfatterne anfører at trykket fra gletscherisen rundt om denne lavning, hvor isen var tynd og issøsedimenter afsattes, blev så stort at flagerne pressedes sammen ind mod lavningens midte, idet det påpeges at der ikke kan være tale om opskydning foran en isstrøm fra Østersøen. En moderne strukturgeologisk analyse viser imidlertid, at det ikke er muligt at forklare klintens arkitektur på anden måde end dannet ved aktiv istektonik. Møns Klint er opbygget af en kombination af skråtstillede flager og stablede antiforme folder af skrivekridt med overliggende kvartære aflejringer dannet i randen af en gletscher der fra syd nåede Møn gennem Østersøen med senere overprægning af et genfremstød lokalt fra øst og nordøst (Pedersen 2000).

Boringer på det østlige Møn viser, at de af Marcussen & Østergaard benævnte »isflodssedimenter«, slet ikke er tilknyttet smeltevandsfloder, men er morænelignende (diamikte) dannelser samt ler og sand aflejret i søer, mens smeltevandssand kun optræder i underordnede mængder. De gennemborede lag er blottet langs klintprofilerne ved Kraneled og Kobbelgård omkring Klintholm Havn (Houmark-Nielsen 1994), og de kvartære aflejringer i flagerne på Møns Klint og i Hjelm Bugt er en del af denne sedimentpakke (Fig. 4). Profilerne viser, at sedimenterne har været udsat for istektonisk deformation fra sydøstlig retning i form af folder og overskydninger dannet ved ispres (Houmark-Nielsen 1988, 1994) og klinterne viser en kompleks lagfølge, der omfatter store dele af Øvre Pleistocæn med lag fra Eem mellemistiden, spor af to nedisninger i Mellem Weichsel og mudrede søaflejringer med flyvesand og stenfattigt ler, som det

Fig. 4. Lagfølgen i klinterne omkring Klintholm Havn med angivelse af fossiler og aldersbestemmelser. Efter Houmark-Nielsen (1994). Lokalisering se Fig. 2.

i Møns Klint. I lagene findes rester af en sparsom buskagatig, subarktisk græssteppe med en fauna, der omfatter ferskvands- og landsnegle samt to arter af lemming (Fig. 4). Søsedimenterne, der er almindelige i klinterne langs Hjelm Bugt, overlejres af till fra Sen Weichsel aflejret af gletscheris først fra nordøst og senere fra sydøst (Fig. 5, enhed 9a, b; Faurbye 1999).

Det er i absolut modstrid med publicerede data at hævde, at kvartærtidens sedimenter i Møns Klint og Elmelundebakkerne skulle være dannet i søer oven på isen under nedsmeltning af det sidste isdække for mindre end 20.000 år siden. Med aldre der langt overstiger tidspunktet for sidste nedisnings maksimum og palæomiljøer, der afspejler et komplekst forløb med nedisning afløst af lange isfrie perioder med subarktiske forhold, kan nedsmeltningsmodellen som forklaring på det østmønske landskabs dannelse afvises. Alle feltdata peger på, at dale og rygge i Elmelundebakkerne og andre bakkeknuder på Møn kun kan være opstået ved aktiv istektonisk opskydning, og at landskabets indre består af flager med skrivekridt overlejret af vekslende kvartære aflejringer med Møns Klint som det smukkeste eksempel.

Nordvestlige Sjælland, Odsherredbuerne og Røsnæs

Odsherredbuerne er en af de to forfatteres kæreste eksempler på deres teoris gyldighed. Fra Klint løber bakkerne vest om Nykøbing Bugt, Sidinge Fjord og Lammefjorden. De udgør en del af flere større bueformede bakkestrøg i Nordvestsjælland, der også omfatter Røsnæs og bakkerne omkring Bjergsted og Holmstrup (Fig. 1 & 6). De langstrakte bakker har siden begyndelsen af 1900-tallet været tolket som randmoræner dannet i krydsfeltet mellem gletschere, der fra syd skød sig op gennem Storebælt, og is fra øst der flød ind over Sjælland (sammenfattet af Berthelsen 1975). Randmorænerne opbygges af istektonisk forstyrrede, overskudte og foldede kvartære og paleocæne sedimenter med istryksretninger generelt fra syd på Røsnæs og fra østlige retninger i Odsherredbuerne og bakkerne ved Bjergsted og Holmstrup (Fig. 6). Begravet under postglaciale marine aflejringer og umiddelbart foran bakkestrøgene findes smeltevandssletter under Sejerø Bugt og Saltbæk Vig. Stedvis findes på indersiden af ryggene sedimenter afsat i isdæmmede søer under afsmeltningen, mens der bag bakkerne strækker sig en moræneflade med gletscherforstyrrede issøbakker, hvoraf nogle er udtværede mod vest og sydøst i isens flyderetning (Krüger 1983, Houmark-Nielsen 1983).

Marcussen og Østergaard deler ikke denne opfat-

Fig. 5. Klinten ved Tøvelde i Hjelm Bugt. Nedre till (enhed 6) overlejret af interstadialt lakustrint sand med planterester og alder på 28.000 år (enhed 7–8) overlejret af to till bænke (enhed 9a, b) adskilt af slirer af skrivekridt og paleocænt ler. Bemærk flage af skrivekridt ved basis af enhed 6. Målestok 2 m. Foto M. Houmark-Nielsen 1998. Lokalisering se Fig. 2.

telse – bakkebuerne er ikke randmoræner, men består af »isflodsletter« og en »storbakke«. Argumenterne for at bakkerne blev aflejret i søer og floder oven på en stagnerende ismasse er, at boringer i bakkerne viser at lerede smeltevandssedimenter findes oven på paleocænt ler eller på marine kvartære dannelser fra Mellem Weichsel. Forfatterne anfører, at der i boringer ikke findes tegn på at bakkerne er skudt op hvilket ville kunne afsløres fx ved at paleocæne sedimenter findes over kvartære, eller ved at kvartærtidens marine aflejringer træffes i en højde, der må have oversteget det daværende havniveau.

Boringerne i Odsherredbuerne (DGU 1977) viser imidlertid et mere varieret billede end det de to forfattere fremstiller. At der findes Mellem Weichsel marine kvartære aflejringer med en arktisk fauna 18 m over havet i Vejrhøjbuerne giver åbenbart ikke forfatterne anledning til undren, selvom datidens havspejl lå mindst 30–40 m lavere end i dag. Andre steder i det sydlige bakkekompleks omkring Bjergsted og Holmstrup træffes tilsvarende marine dannelser i højder på op til mere end 75 meter over havet (Petersen & Buch 1974). En så voldsom isostasisk hævning har ikke kunnet eftervises i Vestsjælland. Det faktum

Fig. 6. Glacialmorfologisk kort over Odsherredbuerne og en række andre klassiske randmorænestrøg i Nordvestsjælland udtegnet fra flyfotos. Efter Houmark-Nielsen (1983).

at de marine aflejringer ved Holmstrup indgår sammen med paleocænt ler i 10-tal meter store folder og overskydninger deformeret fra øst, og at der i boringer findes palæocænt ler, der mellemlejrer kvartære dannelser, taler deres tydelige sprog om en istektonisk oprindelse for bakkerne.

På Røsnæs er der foretaget talrige boringer, der viser gentagelser i lagfølgen, idet paleocæne aflejringer veksler med kvartære (DGU 1977), ligesom den geologiske kortlægning viser, at plastisk ler findes højt oppe mellem kvartære aflejringer i sydkystens profiler (Rørdam & Milthers 1900). Studiet af kystklinter, råstofgrave og flyfotos viser, at bakkerne er opbygget af overskudte og foldede skiver af kvartære og præ-kvartære sedimenter, der er gledet på det plastiske Røsnæsler og deformeret fra sydlige retninger (Berthelsen 1971, Petersen 1973).

Der er ikke truffet tilsvarende flager af den lokale undergrund omkring Vejrhøj eller nord herfor i denne del af Odsherredbuerne, men andre vidnesbyrd taler for istektoniske forstyrrelser af lagfølgen. Mellem Højby Lyng og Nykøbing Bugt findes grusgrave med smeltevandsgrus, der mod vest aftager i kornstørrelse, og som tættest på bakkerne er overskudt fra østlige retninger (Houmark-Nielsen 1981, 1987). Moderne undersøgelser med georadar i det gamle grusgravsfelt har eftervist tilstedeværelsen af istektoniske strukturer (Overgaard & Jakobsen 2001, Jakobsen & Overgaard 2002). Disse undersøgelser fortæller at syn-tektonisk afsatte flodsedimenter er foldede og overskudt fra øst i flager, der hælder 25°–30° ind mod bakkerne og at istektonik er ansvarlig for det nuværende landskabs morfologi og indre opbygning.

Data tyder derfor ikke på, at de smeltevandssedimenter der opbygger Odsherredbuerne og andre langstrakte bakkerygge i Nordvestsjælland er uberørt af istektoniske forstyrrelser, som antaget af Marcussen og Østergaard. Tværtimod taler alt for, at bakkeryggenes indre er pløjet op og stablet sammen langs randen af gletschere fra Storebælt og Midtsjælland i slutningen af sidste istid. Nedsmeltningsteorien anvendt på et af forfatternes nøgleområder er derfor i modstrid med geologiske data. De nordvestsjællandske landskabsformer er stadig et fornemt og klassisk eksempel på den glaciale serie.

Molslandet

De markante bakker i Molslandet blev tidligt knyttet til det ungbaltiske isfremstød, der fra Østersøen nåede sin yderste grænse langs den Østjyske Israndslinie og hvis smeltevandsdannelser afsattes i delvist isdæmmede søer eller på smeltevandssletter som Rosenholmlavningen og Tirstrup Hedeslette (Fig. 1 & 7; Harder 1908, Andersen 1933). Nyere undersøgelser dokumenterer en kompleks istektonisk dannelseshistorie, der omfatter flere nedisningsfaser (Houmark-Nielsen 1983, Larsen & Kronborg 1994, Pedersen & Petersen 1997).

Marcussen & Østergaard mener imidlertid ikke at en mere end 100 m høj bakkeryg kan dannes ved ispres i gletscherforlandet, da der ikke findes tilsvarende langs nutidige gletschere. Dannelsen af Mols Bjerge tilskrives af Marcussen og Østergaard »bevægelsesparallelle spændinger i isen«, der fra nordøst nåede Mols, og som var forårsaget af den højtliggende kalk omkring Grenå. Spændingerne medførte ifølge forfatterne sprækker i isen og heri er bakkerne i Molslandet dannet som »isflodsletter« ved udfyldning af issøer. De to forfattere anfører (s. 103), at der i bakkerne nord for Kalø Vig intet vidnesbyrd findes, som kan støtte tanken om at bakkerne er dannet ved aktivt ispres fra sydlige retninger.

Denne opfattelse må stå for Marcussen og Østergaards egen regning, for den er i skærende kontrast til resultaterne af den geologiske kortlægning og andre undersøgelser i området. De viser nemlig, at de askeførende eocæne aflejringer er foldede og overskudte i klintprofiler, vejgennemskæringer og råstofgrave, samt at de findes i jordoverfladen 50 m over havniveau i kvadratkilometer store områder (Madsen 1897, Andersen 1937, Pedersen & Petersen 1997). Sædvanligvis ligger den faststående præ-kvartæroverflade under havniveau, men adskillige boringer i området viser flager af eocænt ler højt oppe i de kvartære lagfølger (Århus Amtskommune 1979, Jakobsen 1996, Pedersen & Petersen 1997). Disse data underbygger at istektoniske forstyrrelser har spillet en stor rolle i opbygningen af Molslandets bakker. Det er tidligere vist, at dele af Molslandets øvre lag består af uforstyrrede issøsedimenter, men også at området har en mere kompleks opbygning (Madsen 1897, Rasmussen 1977). De sedimenter der indgår i nedsmeltningsmodellens »isflodsletter« omkring Mols består af flere generationer af till og smeltevandsdannelser, der knytter sig til mindst tre forskellige isfremstød fra Sen Weichsel. De yngste omfatter det norske, det mellemsvenske (NØ-fremstødet eller Hovedfremstødet) og det ungbaltiske isfremstød hvis till-aflejringer hver især har en særlig litologi, der knytter sig til isens flyderetning og oprindelsesområde og kan inddeles i flere istektoniske faser (Houmark-Nielsen 1987). Gletschernes udspring afspejles også i den store variation i strandstenenes ledebloktyper, idet både norske, svenske og baltiske blokke findes langs kysterne hvor tillsedimenterne er blottede (Milthers 1942). På baggrund af de geologiske data kan følgende model

Fig. 7. Molslandets glacialmorfologi udtegnet efter flyfotos og geologisk kortlægning. Pilene angiver retning af to generationer af istektonisk deformation. Efter Madsen (1897), Houmark-Nielsen (1983, 1987) og Pedersen & Petersen (1997).

for bakkernes dannelse skitseres. Under afsmeltning af isen fra NØ dannedes nordvest–sydøst-gående israndsstrøg med bakker, hvis indre viser istektonisk deformation fra nordøstlige retninger (fx nord for Tirstrup Hedeslette; Fig. 7). Disse strækker sig fra Limfjordsegnene over Djursland og Mols gennem Storebælt til Møn (Fig. 1; Houmark-Nielsen 1987, Lagerlund & Houmark-Nielsen 1993). Efter at isen var blevet til dødis nåede et nyt ungbaltisk fremstød til Østjylland (Fig. 1, Ø), og omkring Molslandet kollide-rede den baltiske is med de ældre israndsbakker. Disse blev nu overpræget af deformationer fra sydlige og østlige retninger, mens den ungbaltiske is flyderetning delvist blev styret af de eksisterende bakker. I sprækker i dødis afsattes herefter de yngste og højtliggende issøsedimenter, mens smeltevandet fandt afløb gennem Rosenholmlavningen og Tirstrup Hedeslette (Fig. 7).

Marcussen og Østergaards model for Molslandets dannelse stemmer derfor ikke overens med geologiske forskningsresultater og må som vist betragtes som tankespind. Hvilken type af »spændinger i isen« og hvordan de opstår er der ikke gjort rede for hverken i Politikens håndbog eller i en nyere publikation (Hammer *et. al.* 2003), ej heller hvordan en mindre bule af kalksten 30 km mod nordøst ved Grenå kan forårsage sprækkedannelse i stagnerende ismasse. Derfor står den veldokumenterede istektoniske model med nyere modifikationer uantastet indtil andre vidnesbyrd end de af forfatterne fremlagte kan tilvejebringes.

Fig. 8. *Venstre*: kystklinten ved Knudshoved, østligste Fyn (for lokalisering, se Fig. 1). To tills er adskilt af grovklastiske smeltevandsdannelser. Ved basis af den øvre till findes en isskuret stenhorisont markeret med pil, hvor skurestribere viser en foretrukken orientering i nordvest-sydøstlig retning. *Højre*: kompasrosen viser retning af skurestriberne ved basis af øvre till. Klinten er ca. 7 m. høj. Foto: M. Houmark-Nielsen, 1988.

Fig. 9. A: Istektoniske flager af bryozokalk fra Danien og kvartære aflejringer under den øver till, Kalkovnsklinten ved Holckenhavn syd for Nyborg. Ispres fra sydøstlige retninger. Foto M. Houmark-Nielsen, 1988. B: Smeltevandssedimenter foldet af ispres fra sydøst og overlejret af Ungbaltisk till, Davinde, vest for Nyborg. Foto M. Houmark-Nielsen, 1985. For lokalisering, se Fig. 1.

Fig. 10. Vest–øst orienteret profilskitse af Ristinge Klint mellem flage 14 og 31. Istektoniske flager af Eem og Weichsel alder er opskudt, udtværet og afhøvlet af det Ungbaltiske fremstød fra sydøst. Efter deformation afsatte samme isfremstød den øvre diskordante till, der danner overfladen i det strømlinede østfynske morænelandskab. Modificeret efter Rosenkrantz (1944), Sjørring *et al.* (1982) og Kristensen *et al.* (2000). For lokalisering, se Fig. 1. Postglaciale flyvesandsaflejringer er udeladt.

Fyns kystegne

De fynske kystegne og de sydfynske øer, bortset fra dele af Langeland, domineres af bølgede lave moræneflader med langstrakte småbakker og lavninger orienteret i nordvest–sydøstlige retninger formet parallelt med den sidste is' bevægelse (Smed 1962, 1980). De drumlin-lignende rygge med stejl stødside og svagt hældende, ofte udtværet læside er en ypperlig indikator for isbevægelse (Jørgensen 1997). Marcussen og Østergaard anfører imidlertid, at der er tale om »ribbebakker«, hvis retning er vinkelret på isbevægelsen.

Undersøgelser har længe vist, at det strømlinede fynske kystlandskab er dannet af en is der fra Østersøegnene gled ind over Danmark fra sydøstlige og østlige retninger (Andersen 1933). Et nærmere studium afslører, at der under det strømlinede landskabs øverste till, der præges af sten og blokke fra Baltikum, findes tydelige vidnesbyrd om isbevægelse i samme retning i form af isskurede stenhorisonter (Smed 1962, 1997, Jørgensen 1997). Skurestribernes retning (Fig. 8) viser, at disse kan knyttes til den yngste isbevægelse, der var omtrent vinkelret på den retning som Marcussen og Østergaard hævder er gældende. Langstrakte stens orientering i den øvre till samt istektoniske forstyrrelser under tillen viser isbevægelse i samme retning som den landskabsformerne og skurestriberne angiver, hvilket styrker antagelsen om et isbægelsesmønster fra sydøstlige retninger (Houmark-Nielsen 1981, 1987). Marcussen og Østergaard angiver, at det strømlinede landskab dannedes *før* de istektoniske deformationer, som ses i blottede klinter og råstofgrave (Fig. 9). Under nedsmeltningen forestiller de sig, at mindre gletschertunger var i stand til at deformere underlaget efter at størstedelen af isskjoldet var overgået til dødis. Dette skulle bl.a. have ført til dannelsen af de spektakulære istektoniske flagestrukturer i Ristinge Klint på Langeland (Fig. 10).

Dette er præcis det modsatte af, hvad der er gængs opfattelse, nemlig at flagerne er stablet foran en aktiv gletscher, som først *bagefter* overskred sin egen randmoræne fra sydøstlig retning, høvlede landskabet ned, udtværede flagerne og til sidst aflejrede en till på toppen, hvis stenorientering viser isbevægelse fra samme retning som flagedannelsen (Rosenkrantz 1944, Ehlers 1978, Sjørring *et al.* 1982).

De anførte vidnesbyrd om det strømlinede fynske kystlandskabs dannelse som følge af en isoverskridelse fra sydøstlige retninger taler direkte imod de af Marcussen og Østergaard fremførte argumenter. Forfatterne har dog ikke uret når de påpeger at dødislandskabet på de centrale dele af Fyn blev dannet i stagnerende nordøst-is og at dette landskab på helt afgørende punkter afviger fra det strømlinede kystlandskab. Men at dette fremstød skulle være det eneste fra sidste istid, og at det ikke var efterfulgt af en ungbaltisk nedisning, som var ansvarlig for dannelsen af store dele af det strømlinede østdanske morænelandskab, er helt urealistisk. Det kan heller ikke dokumenteres, at de strømlinede landskabsformer er ældre end deformationerne i Ristinge Klint, grusgravene ved Davinde eller klinten ved Holckenhavn syd for Nyborg (Fig. 9–10), snarere tværtimod. »Ribbebakkernes« dannelse, som de to forfattere tænker sig dem, savner ethvert forskningsmæssigt belæg og man må også undres over den ret dominerende plads som denne bakketype – ifølge håndbogens kort – har fået i det danske istidslandskab.

Weichsel-isen og gletscherdynamik

I indledningen af deres bog giver Marcussen og Østergaard en palæogeografisk rekonstruktion af det skandinaviske isskjolds udbredelse for ca. 20.000 år siden. At Hovedopholdslinien (Fig. 1) ikke markerer isens ydergrænse, men grænsen mellem »sammenhængende is og is i klumper« ned gennem Jylland begrundes alene med, at alle glaciale landskabsformer i Danmark, især de nordvest–sydøst-gående »ribbebakker« både på Vestjyllands bakkeøer og i Østdanmark, er dannet af et og samme skandinaviske isskjold i Sen Weichsel. Det nævnes, at der ikke i Vestjylland er dannelser, der antyder tilstedeværelsen af en isrand, hvorfor isskjoldet må have dækket hele Jylland. Det såkaldt stenede sand (Sørensen & Nielsen 1978), der danner overfladen på mange af de vestjyske bakkeøer, forklarer de to forfattere som dannet ved udsmeltning fra en gletscher med efterfølgende sortering i vand. Det skulle være blevet aflejret på højtliggende områder, de senere bakkeøer, under samme isfremstød som afsatte moræneler i andre dele af landet.

Det stenede sand adskiller sig væsentligt fra moræneler. Det mangler, på trods af ringe sortering, den finkornede grundmasse (matriks), som findes i adskillige tills i Vestjylland. Det er karakteristisk ved at være stærkt præget af forvitring og frostsprængning, ved at det er kalkfrit og ved at stenene ofte er vindslebne og polerede af flyvesand. Det stenede sand og de omgivende sedimenter tit stærk deformeret på grund af jordflydning og ofte ses iskilestrukturer, hvilket er karakteristisk for øvre jordlag påvirket af frost–tø processer. Ved Emmerlev Klev i Sydvestjylland, hvor en lagfølge fra Weichsel overlejrer uforstyrrede Eem-moser (Fig. 11), er det stenede sand ledsaget af aflejringer fra snesmeltning og vindblæst dæksand, der har aldre fra 23.000–33.000 år til ca. 67.000 år (Christiansen 1998). Det stenede sands stratigrafiske plads er lidt uklar, idet det danner overfladesedimentet på bakkeøerne, mens det er dækket af yngre glaciale aflejringer andre steder i landet. I klinten ved Spøttrup på Salling ses vindpoleret stenet sand kraftigt påvirket af jordflydning med aldre på mellem 60.000 og 40.000 overlejret af issøsedimenter afsat for mellem 26.000–21.000 år siden (Fig. 12). Denne lagpakke dækkes af flere meter till aflejret af den is der i Sen Weichsel overskred området fra nordøst på vej mod Hovedstilstandslinien (Houmark-Nielsen, 2003).

Det stenede sand er et modent sediment, der ser ud til at have været udsat for vind og vejr i betydeligt længere tid end østdansk moræneler. Det stenede sand har kendetegn som i dag udvikles i et permafrossent, arktisk og til dels aridt miljø, hvor jordflydning ved optøning af det aktive lag er en domi-

Fig. 11. Stenet sand underlejret af vand- og vind afsat sand med involutioner (*nederst*) og gennemsat af iskilestrukturer (*øverst*), Emmerlev Klev. Målestok 1 m. Foto M. Houmark-Nielsen, 1999. For lokalisering, se Fig.1.

Fig. 12. Stenet sand (*S*) fra Mellem Weichsel stærkt forstyrret ved frost-tø processer og med mange vindslebne sten overlejret af issøsedimenter (*I*) og till fra Sen Weichsel. Klinten ved Spøttrup, Vestsalling. Skafter er 0.5 m. Foto M. Houmark-Nielsen, 2000. For lokalisering, se Fig. 1.

nerende proces, og hvor sne- og sandfygning forekommer hyppigt. Stenet sand overlejres øst og nord for Hovedopholdslinien af glaciale sedimenter fra Sen Weichsel og sandsynliggør, at de vestjyske bakkeøer har været eksponerede i lang tid under periglaciale forhold, også mens det østlige Danmark blev isdækket for sidste gang.

Marcussen og Østergaard anfører, at »ny viden om gletschere og gletscheris er i strid med de modeller, der ligger til grund for den konventionelle opfattelse« (s. 24). De siger at gletscheris under flydningen vil knuse det optagne stenmateriale ned til pulverfraktion over relativt korte afstande, ligesom det fremføres at isstrømme ikke har fandtes på det nordeuropæiske lavland.

Som argument for den hurtige nedknusning anfører i kapitlet om strandsten, at »når flint og forkislet kalk stort set mangler ved Vesterhavet, må det betyde, at stenene ikke transporteres særlig langt med isen, selvom der har været masser af flint i isen i Øst-

Fig. 13. Klinten ved Emmerlev Klev med strandsten udvasket af till. Flint forekommer hyppigt. Foto M. Houmark-Nielsen, 2000. For lokalisering, se Fig. 1.

Fig. 14. Fingrustællinger i fraktionen 3-5 mm i till afsat af is med bevægelse fra nordøst i tre snit over Danmark. A og B: Procent flint i forhold til øvrige kalkfrie bjergarter. Profil A-A': Mors – Esbjerg, Profil B – B': Djursland – Varde. C: Procent Kridt-Palæocæn kalk i forhold til kalkfrie sedimenter. Profil C-C': Møn – Vadehavet. Undergrund med kridt og kalk er passeret efter ca. 100 km. Data efter Sjørring og Frederikesen 1980, Houmark-Nielsen 1987, Skibsted 1990, Korsager 2002, Kjær *et al.* 2003. For lokalisering af snit, se Fig. 1.

danmark« (s. 224). På baggrund af dette noget kryptiske udsagn fremfører forfatterne derefter, at sten med hjemsted uden for Danmark, har været transporteret hertil med isbjerge.

Langs Vestkysten er flint imidlertid tilstede i rigelige mængder, hvor tillsedimenter indgår i kystklinterne (Fig. 13). Grustællinger i jyske tills synes heller ikke at bekræfte hypotesen om total nedknusning. I to snit gennem Jylland fra henholdsvis Mors til Esbjerg og fra Djursland til Varde (Fig. 1, 14), synes mængden af flint af være nogenlunde konstant, lige bortset fra høje værdier omkring blottet undergrund af kridt og flint (Fig. 14A, B). Selvom de analyserede tills tilhører forskellige isfremstød må transporten af flint fra Nordjylland og Østdanmark til Vestjylland grundlæggende have været den samme. At flint optræder uden nævneværdig aftagen i isens flyderetning viser, at flint er modstandsdygtig mod istransport. Skrivekridt er imidlertid en blød bjergart som let lader sig pulverisere. Hvis forfatternes antagelse om nedknusning skulle holde stik, synes det højst ejendommeligt at halvdelen af klasterne i stenfraktionen og ca. 30% af alle gruskorn i tillen ved Klåbygård syd for Ribe (Fig. 15) består af skrivekridt, når der er mere end 100–150 km til det nærmeste faststående kilde i Østdanmark. Andelen af skrivekridt og bryozokalk i tills fra det sydlige Danmark synes heller ikke at aftage nævneværdigt fra øst mod vest efter området med blottet Kridt og Danien i undergrunden er passeret (Fig. 14C); den aftagende mængde de første ca. 50 km skyldes hovedsageligt opblanding med andre bjergartstyper opsamlet fra de underliggende lag (Kjær *et al*. 2003).

Et område i det sydlige Midtjylland er særlig rigt på ledeblokke af skånsk basalt (Milthers 1925, 1948b). Da der kun er få spor af havaflejringer fra Weichsel i det midterste og sydlige Danmark, som kunne godtgøre mulighed for isbjergstransport, må basalterne være transporteret med gletschere de mere end ca. 300 km fra forekomsterne i Skåne til Jylland. Basaltblokkenes gennemsnitlige størrelse er stort set den samme i Jylland som i Vestskånes isstidsaflejringer og størrelsen afspejler ifølge Gry (1974) ikke nedknusning ved gletschertransport, men den opsprækning, som er arvet fra forkløftning af basaltssøjler. Gry har tillige vist, at for en række udvalgte ledeblokke gælder at de knuses ned til en stabil kornstørrelse efter ganske kort istransport og at denne kornstørrelse stort set bevares uanset hvor langt blokkene derefter er rejst.

Fig 15. En baltisk till fra Sen Saale ved Ribe med et højt indhold af skrivekridt. Striberne fra kridtet skyldes udtværing ved gravning. Foto S. Sjørring, 1980. For lokalisering, se Fig. 1.

Fig. 16. Ældste Weichsel till (Fig. 4, enhed 4) fra Klintholm, Møn. Bemærk erosiv og istektonisk nedre grænse (delvist stiplet linie) til flager af sand med omlejrede skaller fra Eem mellemistiden og skrivekridt. Foto M. Houmark-Nielsen, 1993. For lokalisering, se Fig. 1.

Marcussen og Østergaards teori om total nedknusning af grus, sten og blokke i gletscheris må derfor afvises. Det er dog givet at nogle af de blokke der findes i Danmark på et tidspunkt kan være transporteret med isbjerge i de dybere dele af Skagerrak og Kattegat. Forfatterne fører som bevis på drivistransport, at rhombeporfyr fra Osloområdet findes langs Vestnorges kyster så langt mod nord som Trondheim. Hertil må anføres at isbjergstransport nemt har kunnet foregå i et farvand, der er mere end 300–500 m dybt, mens det har været betydeligt mere vanskeligt i de lavvandede fjorde, sunde og indsøer som eksisterede i det sydlige Kattegat og Østersøområdet under store del af Weichselistiden, hvor det globale havniveau var 50–100 m lavere end det nuværende. Derudover viser de seneste års forskning i Norge at Osloblokkene på Jæren i Sydvestnorge er transportetret med en isstrøm gennem Norske Rende, kaldet Skagerrakbræen, mens de Osloblokke der findes langs Atlanterhavskysten for størsteparten er ført med isstrømmen til kontinentalranden, hvorfra isbjerge er drevet med den nordatlantiske havstrøm langs kysten og har tabt deres aflejringer undervejs (Sejrup *et al.* 2000).

En isstrøm er en hurtigt flydende, smal og kanaliseret del af et isskjold, der kan dræne store mængder is fra de indre dele af skjoldet, og som afgrænses af mindre aktivt flydende ismasser (Boulton *et al*. 2001). Randen af de isstrømme, der ikke når havet, vil antage en hvælvet, udadbuet facon, der kan trænge mere end 100 km ud foran resten af isskjoldet (Stokes & Clark 1999, 2001). Forskningsbaserede undersøgelser har fremført, at den ungbaltiske nedisning i Weichsel dynamisk er forløbet som flere på hinanden følgende landbaserede isstrømme med vifteformede udbredelser (Houmark-Nielsen 1987, Kjær *et al.* 2003). Når Marcussen og Østergaard hævder at sådanne tungeformede gletschere ikke har kunnet eksistere i Danmark eller på det nordeuropæiske lavland, er det i modstrid med forfatternes egen opfattelse når det gælder de istektoniske forstyrrelser i Ristinge Klint. Her henvises netop til, at den højre flanke af en tungeformet gletscherstrøm, der skulle have flydt ned gennem Storebælt fra nordlige retninger som en udløber af isen fra nordøst, skulle være ansvarlig for flageopskydning fra sydøst. Dette er også i modstrid med alle hidtidige stratigrafiske vidnesbyrd (Andersen 1933, Sjørring *et al.* 1981, Sjørring 1983, Houmark-Nielsen 1987), idet flagedannelsen er sket efter afsmeltningen af nordøstisen i forbindelse med den isstrøm, der dannede det strømlinede østfynske morænelandskab (Fig. 10). Det er især Storebæltsområdets landskabsformer og deres indre opbygning der illustrerer formen og flydemønsteret af tidligere isstrømme (Fig.1). Her ses adskillige bueformede bakkestrøg med istektoniske forstyrrelser dannet af sydfra kommende gletschere, som viser ispres, der spreder sig vifteformet nordud gennem Storebæltslavningen (Houmark-Nielsen 1987). Bakkeryggene forbindes ofte af submarine grunde som underbygger det tungeformede israndsforløb (Smed 1980, Kjær *et al.* 2003).

At Marcussen og Østergaard betragter tillsedimenter, der af andre forfattere anses for knyttet til en ældre Weichselnedisning, som »slamstrømme« gives der ingen forklaring på. De nævner blot, at det forekommer usandsynligt, at en is fra Østersøen kunne have nået Danmark inden Sen Weichsel. Det er efterhånden ret velunderbygget, at de tills, der omtales som »slamstrømme«, viser et ensartet mønster m.h.t. stens orientering og istektonisk deformation ved basis, og at dette mønster antyder tilstedeværelsen af en isstrøm med udgangspunkt i den vestlige Østersø (Houmark-Nielsen 1987, Larsen & Kronborg 1994). Det er også påvist, at den nedre till ved Klintholm på Møn har en subglacial oprindelse (Krüger & Kjær 1999), og at lokale sedimenter ikke kan have været leverandør af denne tills særlige stenindhold, der i toppen helt domineres af røde sandsten kendt fra bunden af den centrale del af Østersøen (Houmark-Nielsen 1994). Kridtflager ved basis af denne till er deformeret og transporteret fra østlige og sydøstlige retninger og vidner om kraftig afhøvling og erosion af den lokale mønske undergrund under dette isfremstød (Fig. 16). Endvidere taler aldersbestemmelser i de omgivende sedimenter på mange lokaliteter i Danmark for, at et baltisk isfremstød i første halvdel af Mellem Weichsel rent faktisk dækkede betydelige dele. Således er till fra det »gammelbaltiske« fremstød også til stede i Ristinge Klints mange istektoniske flager (Fig. 10). Andre data antyder, at et isfremstød

fra Sydnorge dækkede de nordlige dele af landet under Weichselistidens første markante kuldeperiode ved overgangen mellem Tidlig og Mellem Weichsel (Larsen & Kronborg 1994, Houmark-Nielsen 2003).

Diskussion

Med denne artikel er den almindelige opfattelse af istidslandskabets dannelse og opbygning stillet op mod den model, som Marcussen og Østergaard har gjort sig til bannerførere for. De to forfattere fremhæver i deres indledning at »når den konventionelle teori ikke holder længere, skyldes det først og fremmest, at både landskabets former og materialerne i istidslagene bedre forklares som et resultat af hvad der skete da isen smeltede end da den bredte sig over landet« (s. 24). Det er i denne artikel vist, at dette udsagn savner belæg i de geologiske data, at forfatternes argumentation er uden videnskabeligt indhold, og at bogen ikke bygger på den nyeste forskning.

Boredata og klintstudier på Møn viser en kompleks Weichsel-stratigrafi der afspejler stærkt vekslende terrestriske palæomiljøer med opskydning af kridtflager under flere isfremstød. De to forfattere antager fejlagtigt, at kridtflager er en del af den faststående undergrund. Det østmønske landskab er således ikke skabt ved nedsmeltning og bevægelser i undergrunden og efterfølgende issøsedimentation.

Forskning har godtgjort at bakkerne i Nordvestsjælland og Molslandet har fået deres overordnede form ved istektonisk oppresning, og at efterfølgende dødisnedsmeltning har sat sit endelige præg på landskabet. De mange højtliggende flager af paleocæne sedimenter og kvartære marine aflejringer samt strukturgeologiske studier i åbne profiler og geofysiske undersøgelser bekræfter dette. Når det gælder de strømlinede morænelandskaber på Fyn bemærker forfatterne at »et enkelt system af bakker taler for, at dannelsen også har været enkel« (s. 128). Her er deres dannelsesproces imidlertid mere kompleks end den gængse. Da der ikke foreligger data der underbygger deres ideer, må disse betragtes som tankespind. Især skurestribernes retning, der kommer til at stå vinkelret på den fremherskende isbevægelsesretning – ikke blot på Fyn men også på Stevns – afspejler helt grundlæggende svagheder ved deres model.

At de vestjyske bakkeøers landskaber er endeligt udformet under Weichsel istiden, har været erkendt længe, men også at de må være formet af periglaciale processer. At stille spørgsmål ved oprindelsen og alderen af den såkaldte Hovedstilstandslinje kan være yderst relevant. Selvom visse bakkeøer besidder et reliefrigt landskab, er forskellen mellem de mere modne bakkeølandskaber og de friske østdanske landskaber iøjnefaldende. Den manglende lighed mellem det stenede sand i Vestjylland og østdanske till- og smeltevandssedimenter samt det stenede sands stratigrafiske plads *under* de yngste glaciale aflejringer nord og øst for Hovedstilstandslinjen bekræfter ikke tesen om, at hele landet var dækket af en og samme store iskappe i Sen Weichsel.

At isstrømme i langt højere grad end tidligere antaget har spillet en afgørende rolle for det skandinaviske isskjolds dynamik og derfor også for udformningen af det danske istidslandskab er et resultat af den nyeste forskning på området, der må have forbigået forfatternes opmærksomhed.

Konklusion

Det har med denne kritiske gennemgang ikke været muligt at verificere teorien om at »nedsmeltningsmodellen« skulle være eneherskende, og bevisbyrden om grundlaget for selve modellens pålidelighed påhviler stadig forfatterne. Det er jo til ringe nytte at forsøge at forklare noget kompliceret med en enkel model, hvis modellen savner indre dynamik og ikke kan underkastes videnskabelig metodik. Selvom nedsmeltning mange steder unægtelig også har bidraget til landskabets udseende, er det stadig den gængse model, hvor istektonisk deformation danner rygraden i landskabets opbygning i samspil med en række andre glaciale processer, der står som den bedst underbyggede. Marcussen og Østergaard befinder sig ikke blot fagligt på meget tynd is, de vildleder læserne, mens de uden diskussion og manglende videnskabelig afprøvning ophøjer en hypotese til en almen gyldig model, der med ét slag skal forklare et problemkompleks som det danske istidslandskabs dannelse og opbygning og Kvartærtidens geologiske udvikling.

Med »Danmarks Geologiske Seværdigheder« fraviger Politikens Forlag tidligere praksis med at udsende håndbøger, der hviler på et bredt fagligt og forskningsmæssigt velunderbygget grundlag. Det er meget problematisk at fremføre en så kontroversiel teori om Danmarks kvartærgeologi i en populærvidenskabelig håndbog; en tilsvarende bog om spisesvampe kunne bringe mange læsere i livsfare. Teorien bør selv sagt afprøves i et videnskabeligt forum inden så radikalt anderledes en model udsendes til en interesseret læserskare uden faglige forudsætninger. At udgivelsen støttes af DONG og får opbakning fra Danmarks Naturfredningsforening er ikke i sig selv et kvalitetsstempel og må skyldes manglede indsigt i bogens indhold. Uanset bogen har til formål at danne udgangspunkt for en åben debat om istidslandskabet

uden forudindtagede holdninger, kan den ikke anbefales i undervisningsøjemed. Dertil er den alt for uunderbygget og svært gennemskuelig i sin argumentation og direkte vildledende for læsere uden faglige forudsætninger.

Tak

Der skal rettes en tak til kollegerne ved Københavns Universitet, lektor Svend Funder, Geologisk Museum; lektor Bjørn Buchardt, Geologisk Institut og professor Johannes Krüger, Geografisk Institut samt journalist Allan B. Heering (tidl. Dagbladet Politiken) for inspirerende diskussion og forslag til sproglig opstramning.

Litteratur

Aber, J.S, Croot, D. & Fenton, M.M. 1989: Glaciotectonic Landforms and Structures, 200 pp. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Andersen, S.A. 1933: Det danske Landskabs Historie. Danmarks Geologi i almenfatteligt omrids, 111–124. København: Levin & Munksgaard.

Andersen, S.A. 1937: De vulkanske askelag i Vejgennemskæringen ved Ølst og deres Udbredelse i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række 59, 52 pp.

Berthelsen, A. 1971: Fotogeologiske og feltgeologiske undersøgelser i NV-Sjælland. Dansk Geologisk Forening Årsskrift for 1970, 64–69.

Berthelsen, A. 1975: Geologi på Røsnæs. Ekskursionsfører 3, Varv, 78 pp.

Berthelsen, A. 1978: The methodology of kineto-stratigraphy as applied to glacial geology. Bulletin of the Geological Society of Denmark 27, 25–38.

Berthelsen, A. 1979a: Contrasting views on the Weichselian glaciation and deglaciation of Denmark. Boreas 8, 125–132.

Berthelsen, A. 1979b: Recumbent folds and boudinage structures formed by subglacial shear: an example of gravity tectonics. Geologie en Mijnbouw 58, 253–260.

Berthelsen, A., Konradi, P.B., Petersen, K.S., Rasmussen, L.Aa. & Sjørring, S. 1976*:* Guide for NORDQUA Ekskursion 1976, Sjælland, Falster, Møn, 30 pp. København: Geologisk Institut, Københavns Universitet.

Berthelsen, A., Konradi, P.B, & Petersen, K.S. 1977: Kvartære lagfølger og strukturer i Vestmøns klinter. Dansk Geologisk Forening Årsskrift for 1976, 93–97.

Binzer, K. & Stockmarr, J 1994: Geologisk kort over Danmark. Prækvartæroverfladens højdeforhold. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie 44, 10 pp.

Boulton, G.S., Dongelmans, P., Punkari, M. & Broadgate, M. 2001: Palaeoglaciology of an ice sheet though a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. Quaternary Science Reviews 20, 591–625.

Christiansen, H.H. 1998: Periglacial sediments in an Eemian–Weichselian succession at Emmerlev Klev, southwestern Jutland, Denmark. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 138, 245–258.

DGU 1977: Geologisk basisdatakort 1414 II: Nykøbing S, 1413 I Holbæk & 1413 IV Kalundborg. København: Danmarks Geologiske Undersøgelse.

Ehlers, J. 1978: Fine gravel analysis after the Dutch method as tested out on Ristinge Klint, Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 27, 157–165.

Faurbye, M. 1999: En kvartærgeologisk og strukturgeologisk undersøgelse af klintprofilet Feriehjemmet ved Tøvelde på det sydlige Møn, 111 pp. Upubliceret cand. scient afhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet.

Gripp, K. 1947: Jasmund und Möen, eine glacialmorphologische Untersuchung. Erdkunde 1, 175–184.

Gry, H. 1940: De istektoniske Forhold i Molerommrådet. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening 9, 586–627.

Gry, H. 1974 : Ledeblokkes kornstørrelsesforhold og transportmåde. Dansk Geologisk Forening Årsskrift for 1973, 140–151.

Haarsted, V. 1956: De kvartærgeologiske og geomorfologiske forhold på Møn. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening 8, 124–126.

Hammer, C., Marcussen, I. & Østergaard, T. 2003: Et land formet af vand. Geografisk orientering 4, 146–153.

Hansen, S. & Nielsen, A.V. 1960: Glacial geology of southern Denmark. Guide to excursions A 44 and C 39. International Geological Crongress, Denmark guidebook III, 56 pp.

Harder, P. 1908: En østjydsk Israndslinie og dens Indflydelse paa Vandløbene. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række 19, 227 p.

Hintze V. 1937: *Möens Klints Geologi*. E.L. Mertz & V. Nordmann (redr). København.

Houmark-Nielsen, M. 1981: Glacialstratigrafi i Danmark øst for Hovedopholdslinien. Dansk Geologisk Forening Årsskrift for 1980, 61–76.

Houmark-Nielsen, M. 1983: Glacial stratigraphy and morphology of the northern Bælthav region. I: J. Ehlers (red.) Glacial deposits in northwest Europe, 199–202. Rotterdam: A.A.Balkema.

Houmark-Nielsen, M. 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central parts of Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 36, 1–189.

Houmark-Nielsen, M. 1988: Nyt om sidste istid. Klintholm, et nyt kvartærgeologisk nøgleprofil i Østdanmark. Varv 4, 126–138.

Houmark-Nielsen, M. 1994. Late Pleistocene stratigraphy, glaciation chronology and Middle Weichselian environmental hisgtory from Klintholm, Møn, Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 41, 181–202.

Houmark-Nielsen, M. 1999: A lithostratigraphy of Weichselian glacial and interstadial deposits in Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 46, 101–114.

Houmark-Nielsen, M. 2003: Signature and timing of the Kattegat Ice Stream: onset of the Last Glacial Maximum sequence at the southwestern margin of the Scandinavian Ice Sheet. Boreas 32, 227–241.

Humlum, O., Krüger, J. & Sjørring, S. 1978: Danmark i sidste istid: En diskussion. Naturens Verden 1978, 272–286.

Jakobsen, P.R. 1996: Distribution and intensity of glaciotectonic deformation in Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 42, 175–185.

Jakobsen, P.R. & Overgaard, T. 2002: Georadar facies and glaciotectonic structures in ice maginal deposits, northwest Zealand, Denmark. Quaternary Science Reviews 21, 917–927.

Jørgensen, F. 1997: Isretninger på Østfyn – isens spor i landskabet. Geologisk Nyt 2, 23–26.

Kjær, K.H., Houmark-Nielsen, M. & Richardt, N. 2003: Ice-flow patterns and dispersal of erratics at the southwestern margin of the last Scandinavian Ice Sheet: signature of palaeo-ice streams. Boreas 32, 130–148.

Korsager, B. 2002: En strukturel og sedimentologisk undersøgelse af klinten ved Skærbæk, Nordmors, 138 pp. Upubliceret cand. scient afhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet.

Kristensen, P., Bibbard, P., Knudsen, K.L. & Ehlers, J. 2000. Last Interglacial stratigraphy at Ristinge Klint, South Denmark. *Boreas* 29, 103–116.

Krüger, J. 1983: Glacial morphologi and deposits in Denmark. I: J. Ehlers (red.) Glacial deposits in northwest Europe, 181–191. Rotterdam: AA. Balkema.

Krüger, J. & Kjær, K.H. 1999: A chart for field description and genetic interpretation of glacial diamicts and associated sediments – with examples from Greenland, Iceland and Denmark. Boreas 28, 386–402.

Lagerlund, E. & Houmark-Nielsen, M. 1993: Timing and pattern of the last deglaciation in the Kattegat region, southwest Scandinavia. Boreas 22, 337–347.

Larsen, G. & Kronborg, C. 1994: Geologisk Set: Det mellemste Jylland, 272 pp. Brenderup: Geografforlaget .

Madsen, V. 1897: Kortbladet Samsø. Danmarks Geologiske Undersøgelse I. Række 5, 87 pp.

Marcussen, I. 1977: Deglaciation landscapes formed during the wasting of the late Middle Weichselian ice sheet in Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række 110, 72 pp.

Marcussen, I. & Østergaard T.V. 1977: Danmark i sidste istid. Naturens Verden 1977, 367–375.

Marcussen, I. & Østergaard T.V.1978: Danmarks istidslandskaber – en ny teori for deres dannelse. Naturens Verden 1978, 53–61.

Marcussen, I. & Østergaard T.V. 2003: Danmarks geologiske seværdigheder, 252 pp. København: Politikens Forlag.

Milthers K. 1942: Ledeblokke og Landskasformer i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række 69, 137 p.

Milthers, V. 1900: Randmoræner. I: Rørdam, K. & Milthers, V. (red.) Kortbladene Sejerø, Nykøbing, Kalundborg og Holbæk. Danmarks Geologiske Undersøgelse I. Række 8, 69–83.

Milthers, V. 1925: Kortbladet Bække. Danmarks Geologiske Undersøgelse I. Række 15, 175 pp.

Milthers V. 1948a: Det danske Istidslandskabs Terrænformer og deres Opståen. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række 28, 233 pp.

Milthers, V. 1948 b: Fund af Basaltblokke i Sydjylland og Sønderjylland. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening 11, 267–268.

Nørrevang, A. & Meyer, T.J. 1967: Danmarks natur, 448 pp. København: Politikens Forlag.

Overgaard, & Jakobsen, P.R. 2001: Mapping and glaciotectonic deformation in an ice marginal environment with ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics 47, 91–197.

Pedersen, S.A.S. 2000: Superimposed deformation in glaciotectonics. Bulletin of the Geological Society of Denmark 46, 125–144.

Pedersen, S.A.S. & Petersen K.S. 1997: Djurslands geologi, 96 pp. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Petersen, K.S. 1973: Tills in dislocated drift deposits on the Røsnæs peninsula, nortewestern Sjælland, Denmark. Bulletin of the Geological Institution, University of Uppsala 5, 41–49.

Petersen, K.S. & Buch, A. 1974: Dislocated tills with Paleogene and Pleistocene marine beds. Danmarks Geologiske Undersøgelse Årbog 1973, 63–91.

Rasmussen, H.W. 1977: Geologi på Mols. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie A 4, 21 p.

Rosenkrantz, A. 1944: Nye Bidrag til Forstaaelsen af Ristinge Klints Opbygning. Meddelelser fra Dansk Geoloigsk Forening 10, 431–435.

Rørdam, K. 1893: Kortbladene Helsingør og Hillerød. Danmarks Geologiske Undersøgelse I. Række 1, 110 p.

Rørdam K. 1909: Geologi og Jordbundslære II, 225 pp. København: Nordisk Forlag.

Rørdan, K. & Milthers, V. 1900: Kortbladene Sejerø, Nykjøbing, Kalundborg og Holbæk. Danmarks Geologiske Undersøgelse I. Række 8, 143 p.

Sejrup, H.P., Larsen, E., Landvik, J., King, E.L., Hafliadson, H & Nesje, A. 2002: Quaternary glaciations in southern Fennoscandia: evidence from southwestern Norway and the northern North Sea region. Quaternary Science Reviews 19, 667–685.

Sjørring, S. 1983: The glacial history of Denmark. I: J. Ehlers (red.) Glacial deposits in northwest Europe, 163–179. Rotterdam: AA. Balkema.

Sjørring, S. & Frederiksen, J. 1980: Glacialstratigrafiske observationer i de vestjyske bakkeøer. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1979, 63–77.

Sjørring, S., Nielsen, P.E., Frederiksen, J., Hegner, J., Hyde, G. Jensen, J.B., Mogensen, A. & Vortisch, W. 1982: Observationer fra Ristinge Klint, felt- og laboratorieundersøgelser. Dansk Geologisk Forening Årsskrift for 1981, 135–149.

Skibsted, S. 1990: Mellem-Pleistocæn tillstratigrafi på Skovbjerg-, Ølgod- og Esbjerg Bakkeø, 289 pp. Upubliceret cand scient afhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet.

Slater, G. 1927: The structure of the disturbed deposits of Möns Klint Denmark. Transactions of the Royal Society of Edinburgh 55(12), 289–302.

Smed, P. 1962: Studier over den fynske øgruppes glaciale landskabsformer. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening 15, 1–74.

Smed, P. 1980: Det fynske landskab, 51 pp. Brenderup: Geografforlaget.

Smed, P. 1997: De 949 isskurede sten i Lindødokkerne. Geologisk Nyt 3, 22–25.

Stokes C.R. & Clark, C.D. 1999: Geomorphological criteria for identifying Pleistocene ice streams. Annals of Glaciology 28, 67–74.

Stokes C.R. & Clark, C.D. 2001: Palaeo-ice streams. Quaternary Science Reviews 20, 1473–1557.

Sørensen, H. & Nielsen, A.V. Den geololgiske kortlægning af Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie A 2, 79 pp.

Ussing, N.V. 1904: Danmarks Geologi. Danmarks Geologiske Undersøgelse III. Række 2, 372 pp.
Århus Amtskommune 1979: Geologisk cirkelprofilkort basisdata, 1315 II SV Rønde. Århus: Århus amtsvandvæsen.