

Geologisk Tidsskrift



DECEMBER 2010



Geologisk Tidsskrift udgives én gang årligt i trykt form af Dansk Geologisk Forening, DGF. Artikler om alle aspekter inden for geologien optages efter invitation fra redaktionskomiteen. Tidsskriftet indeholder endvidere mindre afhandlinger af specielt dansk interesse samt bestyrelsens årsberetning.

Redaktion: Kurt H. Kjær (Statens Naturhistoriske Museum, SNM) og Peter Frykman (GEUS).

Redaktionskomite: DGF's bestyrelse.

Medlemskab af DGF koster i 2008 kr. 480, studerende dog kun kr. 240 (50 kr. reduktion ved indbetaling af kontingent via PBS betaling).

Enkeltnumre af Geologisk Tidsskrift sælges i løssalg, se www.2dgm.dk for adresse samt forfattervejledning.

Ansaret for artiklernes videnskabelige indhold påhviler udelukkende forfatterne.

@ Dansk Geologisk Forening

DGF's sekretariat

Dansk Geologisk Forening
Geologisk Museum
Øster Voldgade 5-7
1350 København K
Varierende åbningstider: se www.2dgm.dk

Tlf. 3532 2354
E-post: sekretariat@2dgm.dk

DGF' S hjemmeside: www.2dgm.dk

Husk at melde adresseforandring enten pr. post til sekretariatet eller benyt hjemmesiden.

Forsideillustration: Kerneområdet i den nye Nationalpark Mols Bjerge set fra luften. Området i forgrunden viser Trehøje bestående af langstrakte bakker af sand og grus aflejret i sprækker og lavninger i stagnerende gletsjeris. En bronzealderhøj til venstre har fået en fremtrædende placering i landskabet. I baggrunden israndsbakker og moræneflade på det sydlige Mols, hvor Helgenæs skimtes i det fjerne. Foto Skov- og Naturstyrelsen - Nationalparker. skovognatur.dk

Istidslandskabet omkring Nationalpark Mols Bjerger

AF MICHAEL HOUMARK-NIELSEN

Houmark-Nielsen, M. 2010: Istidslandskabet omkring Nationalpark Mols Bjerger. Geologisk Tidsskrift 2010, pp. 1–25, København.

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

En østjysk nationalpark har set dagens lys, og i den anledning er det på sin plads at redegøre for geologien omkring parken, da det netop er de naturskabte herligheder, der blev fremhævet ved udpegelsen af området. Med centrum i egnen omkring Mols Bjerger blev nationalparken etableret i 2010. Beskrivelsen af geologien omkring Nationalpark Mols Bjerger vil lægge hovedvægten på det, som kan ses og opleves langs de mange strandes blottede kystklinter, i råstofgrave og i selve landskabsformerne. En redegørelse for områdets naturhistorie er ønskværdig, fordi Mols Bjerger danner kernen i en nylig etableret nationalpark hvis grænser er afstukket på baggrund af istidslandskabets formverden og dens indre opbygning. Det er nemlig det særegne istidslandskab som danner ryggraden i nationalparken og som har dannet grundlaget for naturens udvikling i området og menneskenes udnyttelse af områdets værdier (Fig. 1). Denne artikel forsøger at leve op til et ønske blandt Dansk Geologisk Forenings medlemmer og andre med interesse for geologi om at gøre de geologiske forhold i nationalparken synlige og at perspektivere geologien på Mols ved at binde den sammen med geologien i de øvrige dele af det sydlige Djursland i en meningsfuld helhed.

Nationalparken blev udpeget på grund af sit landskabsmæssige og geologiske særkende, som danner grundlag for områdets varierende kulturelle og historiske værdier. Molslandet er kendetegnet ved jordbrugs udnyttelse af landskabet, der med sin særlige bevoksning og dyreverden og de spredte bebyggelser afspejler middelalderens landsbyer og købstæder. Moderne tiders storstilede skovrejsning og sommerhusområdernes vækst slører i nogen grad de ældre kulturlandskaber og landskabsformerne. Selve Mols Bjerger udgør sammen med mindre kyst-, sø- og havområder arealer af international betydning, mens områder af national betydning, der er knyttet til kulturlandskaber herunder større bebyggelser, er med til

at skabe sammenhæng mellem nationalparkens kerneområder. I det sydlige Djursland findes imidlertid også områder af særlig geologisk interesse uden for selve nationalparken, og tilsammen danner hele området en relativt begrænset, men særdeles kompleks region i det centrale Østjylland, der er rig på velblottede geologiske aflejringer. Når disse ligger lag på lag danner de lagfølger, der fungerer som historiske arkiver. De danner rammen om et par kapitler i Danmarks geologiske historie, der først og fremmest omhandler de seneste 35.000 tusind år (Mellem og Sen Weichsel samt Holocæn), men med afstikkere til den ældre del af kvartærtiden (Elster og Holstein) og de foregående



Figur 1: Udsigt over Ebeltoft Vig fra Mols Bjerger. Foto: Nationalpark Mols Bjerger. Skov- og Naturstyrelsen - Nationalparker. skovognatur.dk

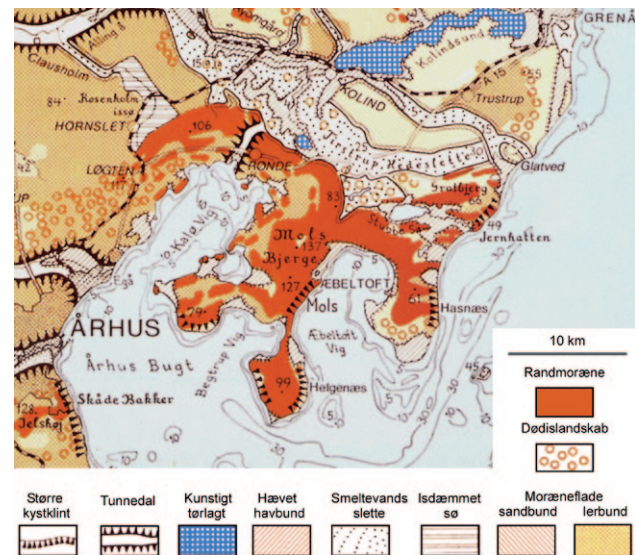
tidsafsnit fra den ældre del af Palæogen (Paleocæn, Eocæn og Oligocæn). Områdets unikke landskabelige værdier er opstået i krydsfeltet mellem isfremstød fra Sverige, der sent i sidste istid flød over Kattegat til Jylland og isstrømme, der fra Østersølavningen nåede det sydlige Djursland.

Terrænformerne på det sydlige Djursland

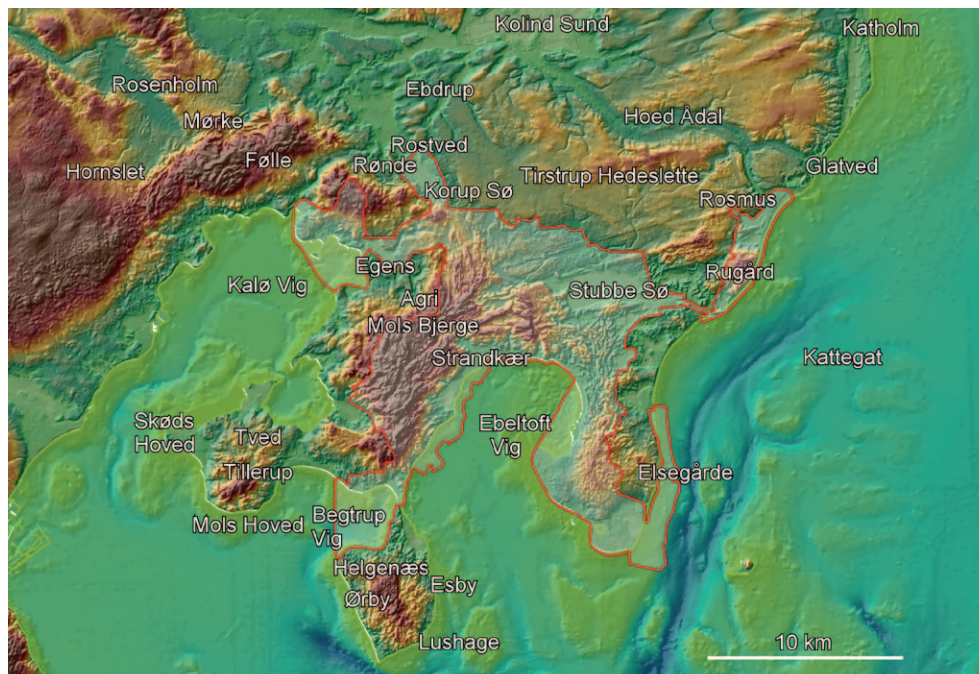
Den digitale højdemodel over det sydlige Djursland byder på et tilsyneladende meget reliefrikt landskab (Fig. 2), hvilket skyldes den forvrængning af højden, der ligger i selve modellens konstruktion med en nøjagtighed på 30 cm inden for en afstand af 10 m (Kort og Matrikelstyrelsen 2008). Overdrivelse af højder og dybder kan give en del "topografisk støj" i form af veje, markdiger osv., men har imidlertid også den fordel, at naturlige detaljer i terrænet, som ellers ville være skjult, dukker frem her, fordi bevoksning og bebyggelse er forsøgt elimineret. Det er denne højdemodel, der danner det formmæssige grundlag i de forskellige kortfremstillinger, som behandler områdets geologi og geomorfologi. Et blik på kortet afslører ikke blot en række landskabsformer, men også en forståelse af i hvilken rækkefølge de måtte være dannet. De ældste landskaber findes mod nord mellem Rosenholm og Glatved og består af et storbakkede former, der når højder på mere end 50 m gennemsat af brede lavninger. Dette landskab er sløret og udglattet af en yngre begivenhed der har dannet en udstrakt flade, hvor især to områder viser km-lange retlinede bakkerygge orienteret i nordøst - sydvestlig retning. Fladen med de retlinede bakker er senere gennemskåret af lange og smalle fladbundede dale. Disse nord-

lige landskaber afbrydes brat i det sydlige Djursland af to hesteskoformede bakkepartier, der åbner sig mod syd centreret omkring Mols Bjerge. Bakkebuene når højder på 80-120 m over havet og har en overflade, hvorpå der er påklustret utallige mindre aflange rygge. Disse bakkestrøg må tilhøre en yngre landskabsdannende begivenhed. Yngst er et net af smalle dale, der også ses på havbunden omkring Molslandet.

Ved siden af den rene topografiske model står landskabskortet, der viser en glacialmorfolologisk tolkning af terrænformerne, der bygger på den rige litteratur, der findes om områdets geologi (Fig. 3). Heraf fremgår, at de buedeformede bakker, Molsbuene, er randmoræ-



Figur 3: Landskabskort over det sydlige Djursland. Efter P. Smed (1981).



Figur 2: Terrænmodel over det sydlige Djursland med stednavne nævnt i teksten. Nationalparkens udbredelse er vist med grå skygge med rødt omruds. Farverne på land dækker intervallet 0 m (mørk grøn) til 130 m over havet (mørk brun). Havdybden er vist i intervallet fra 0 m (lys grøn) til 75 m (blå). Landskaberne er domineret af yngre former fra Sen Weichsel og Holocæn, men ældre træk kan genkendes.

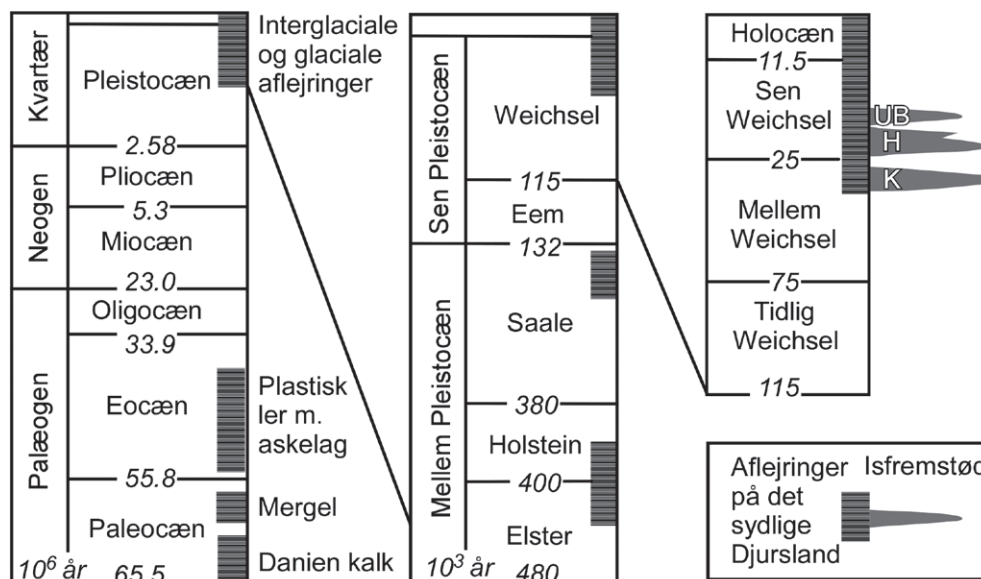
ner, hvis centrale del udgøres netop af Mols Bjerge, kerneområdet i nationalparken. De blev ifølge den klassiske litteratur dannet ved mødet mellem tungeformede gletsjere, der trængte ind over Østjylland sent i sidste istid under det såkaldt Ungbaltiske isfremstød. Foran Molsbuerne ligger et istidslandskab stedvis med præg af dødismorfologi udformet under afsmeltningen af det lidt ældre Hovedfremstød. Dalene og lavningerne udfyldes af smeltevandssletter, hvoraf den mest fremtrædende er Tirstrup Hedeslette, der har ledt smeltevandet bort fra gletsjerens rand ved Molsbuerne, og hvor smeltevandssfloder i flere omgange har skåret sig ned i gletsjerforlandet. De lavest liggende områder opfyldtes i Holocæn af søaflejringer og efterfølgende tilgroning samt strand og kystdannelser fra Stenalderhavet mens visse områder er i nyere tid inddæmmede f. eks. Kolindsund.

I det følgende gives en mere detaljeret redegørelse for den geologiske udvikling og landskabernes dannelse på baggrund af analyse af den digitale højdemodel, den geologiske kortlægning samt feltstudier, og sat i perspektiv til mere regionale begivenheder. Sideløbende behandler en række "faktabokse" særlige emner som supplement til den løbende tekst. Det drejer sig om istider og kronologi, isdynamik og historiske gennemgange af den geologiske udforskning af kvartæret og undergrunden i det sydlige Djursland. Fremtidens forskning vil lægge flere brikker i det store puslespil og sikkert formå at tilføje nye aspekter og alternative tolkninger til det sydlige Djurslands mangefacetterede geologiske historie.

Aflejringernes tidsmæssige placering

De blottede aflejringer på det sydlige Djursland dækker tidsrummet fra begyndelsen af den palæogene

epoke til i dag, et spand på ca. 65.5 millioner år (Fig. 4). Imidlertid er kronologien voldsomt huller, idet aflejringer fra mange geologiske tidsrum mangler. Dette skyldes ikke at de aldrig har været til stede på det sydlige Djursland, men fordi de efter afsætning er blevet bortroderet. Faststående bryozokalk fra Danien er til stede i områdets allernordligste del, men findes oftest i omlejret form som blokke i smeltevandssaflejringerne ved Glatved. Aflejringer fra Paleocæn og Eocæn bestående af mergel og plastisk ler med vulkanske askelag optræder dels i deres oprindelige position dels som flager indlejret i istidsaflejringerne. Omkring det sydlige Djursland findes aflejringer fra tre afsnit af Kvartær. Det gælder overgangen fra istid til mellemistid, der fandt sted for omkring 400.000 år siden og dækker den sene del af kuldeperioden Elster og begyndelsen af Holstein Mellemistiden. Derpå følger ca. 140.000 år gamle glaciale aflejringer fra slutningen af den efterfølgende Saale istid og efter endnu et tidsrum, hvorfra aflejringer mangler, findes velbevarede lagfølger fra slutningen af sidste istid, Weichsel og store dele af vores nuværende varmetid, Holocæn, et tidsrum der i store træk spænder over de seneste 35.000 år. De pleistocæne aflejringer findes for de ældres vedkommende som større flager af glaciale og interglaciale dannelser fra Mellem Pleistocæn. Istidsaflejringer fra Yngre Pleistocæn findes både i deres oprindelige position og i foldede og overskudte flager dannet ved gletsjernes tryk og oppresning i forbindelse med dannelsen af Molslandets randmoræner. Søaflejringer fra Senglacaltiden, der omfatter slutningen af sidste istid, og ferskvandsdannelser, marine aflejringer og flyvesand fra Holocæn findes i deres oprindelige lejringsstilstand i istidslandskabets lavninger.



Figur 4: Stratigrafisk skema der viser fra hvilke geologiske perioder, der findes aflejringer på det sydlige Djursland. Isfremstød: K (Kattegat Isstrøm), H (Hovedfremstød), UB (Ungbaltisk Isstrøm).

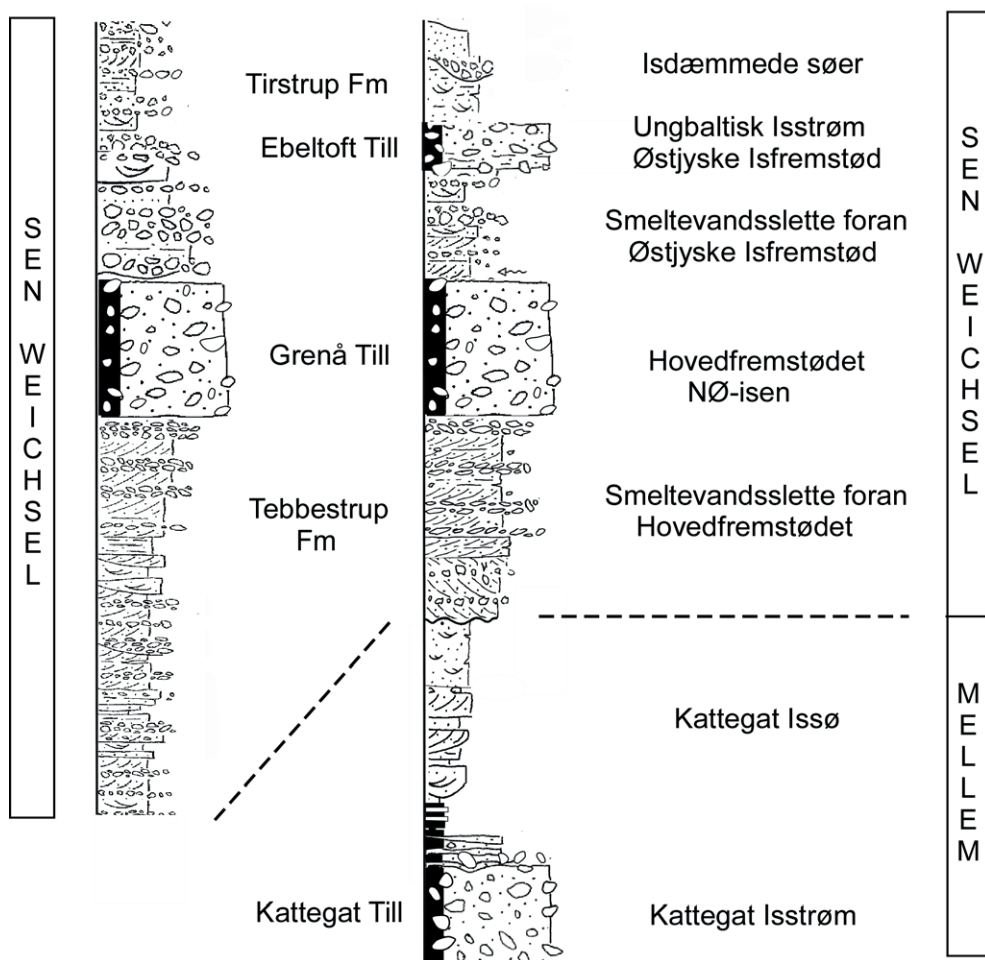
Istidslandskaber og lagfølger på det sydlige Djursland

En tur langs det sydlige Djurslands kyster afslører at strandstenene er af blandet herkomst. Stenene, der stammer fra det meste af Sydsandinavien, hidrører fra de gletsjersedimenter der findes i Molslandets kystklinter. De dårligt sorterede mudrede og stenede aflejringer kaldtes tidligere for moræner, men den betegnelse er i dag afløst af ordet till, således at "moræne" herefter udelukkende knyttes til landskabsformer dannet af gletsjere. Blandt de forvitningsstabile sten og blokke langs stranden, i grusgrave og i markstensbunker findes bjergarter fra Oslofeltet i Sydnorge, fra Dalarna, området omkring Vänern og fra Skåne i Mellem- og Sydsverige samt området omkring Ålandsøerne og sandsten fra Østersøens bund. Da gletsjernes strømningsveje ikke har kunnet mødes under et og samme isfremstød, må stenene være bragt hertil under flere forskellige nedsningsfaser. Studier af lagfølger (Houmark-Nielsen 1987; Pedersen & Petersen 1997) har klarlagt, at Katttegat Till, der er afsat af Katttegat Isstrømmen med udspring i Oslofjorden, er den ældste blandt tre till-formationer og at denne

till som regel danner "bunden" i klinterne langs Molslandets kyster (Fig. 5). Dette støttes strandstenstællinger (Milthers 1942), der har en langt højere andel af Osloblokke end tællinger fra grusgrave eller marksten.

Den mellemste formation, Grenå Till, er afsat af Hovedfremstødet ("Nordøstisen"), der invaderede området fra nordøst. Den findes overalt i områdets kystklinter og grusgrave, og fører porfyre fra Dalarna og diabas fra Kinnekulle samt "Katholmblokke", der er særligt rigt repræsenteret omkring Katholm på det centrale Østdjursland (Fig. 6). Disse fossilholdige marine muddersten fra Jura udgør den præ-kvartære undergrund i det østlige Katttegat (Barthman & Christensen 1975). Den yngste till-formation i det sydlige Djursland er Ebeltoft Till. Den findes i jordoverfladen og kan ses i snit langs kysterne indenfor udbredelsen af det Østjyske Isfremstød, som er den ældste af de Ungbaltiske Istrømme og hvis udbredelse er markeret af randmorænerne omkring Mols Bjerge (Fig. 3). Her udgør baltiske blokke mellem 30% og 75% af samtlige ledebloke fra tællinger med mere end 25 sten (Milthers 1942).

Katttegat till og Grenå till er mellemlejret af flod- og søaflejringer kaldet Tebbestrup Formationen. I nord



Figur 5: Sammensatte lagfølger for Mellem og Sen Weichsel i det sydlige Djursland. Venstre: nord for de ungbaltiske randmoræner (Molsbuerne), højre: syd for randmorænerne. Efter Pedersen & Petersen (1997) og Houmark-Nielsen 1987, 1999).

dækkes Grenå till af Tirstrup Formationens flod og issøsedimenter, mens samme formation adskiller Grenå till og Ebeltoft till i syd. Alle aflejringer er efter alt at dømme afsat indenfor et tidsrum der spænder fra ca. 30.000 år til ca. 15.000 år (Boks 1).



Figur 6: Katholm blok; en marin muddersten med muslinger og snegle fra Jura transporteret med Nordøst-isen til Djursland.

Isfremstødenes alder

Datering af nedisningsforløbet har ikke været særligt udbytterigt når det gælder aflejringerne på det sydlige Djursland. Derfor har det været nødvendigt med litostratigrafisk korrelation til lokaliteter uden for området, hvor datering har været mere succesfuld. Denne form for korrelation bruges til at demonstrere samhörighed mellem de enkelte till formationer på en række forskellige lokaliteter ud fra deres litologi dvs. udseende, strukturer der viser gletsjernes flydemønstre, stenindhold m.m. Hertil kommer de enkelte till formationers stratigrafiske placering i de undersøgte lagfølger. Indholdet af omlejlrede Sen Kvartære foraminiferer i tillaflejringerne langs Molslandets klinter, har også måttet tages i anvendelse til indirekte aldersangivelse. Metoder til aldersbestemmelse er nærmere behandlet i Boks 1.

Tirstrup Formationen (Fig. 5), der er aflejret foran randmorænerne på Mols, har givet luminescensaldre, der spænder fra 128.000 år tættest på den daværende isrand nær Rosmos til 28.000 år ca. 20 km nedstrøms på Tirstrup smeltevandssletten (Ditlefsen 1991; Houmark-Nielsen 2008). Dateringerne viser en næsten systematiske aftagen i alder jo større afstand sedimentkornene er transporteret, hvilket kan skyldes, at partiklerne oprindeligt har haft en ældre eksponeringsalder arvet fra de sedimenter, som gletsjeren havde opsamlet på sin vej. Dette kan forklares ved at sedimentkornene er blevet transporteret i turbulente floder rige på opslæmmet materiale og at kornene derfor ikke er blevet tilstrækkeligt belyst af solen for at "nulstille" dem. Dateringerne giver derfor et blandet aldersspektrum fra mere eller mindre velbelyste sedi-

mentkorn, og derfor må selv den yngste datering anses for højere den sande alder, hvilket betyder at Tirstrup Formationen må være yngre end 28.000 år. En mammutstødtand fra smeltevandsaflejringerne ved Rosmus gav ved konventionel ^{14}C datering en alder på ca. 16.000 år og blev anset for at tidsfæste det Østjyske Isfremstød (Petersen & Kronborg 1991). En gendatering med moderne ^{14}C metodik gav imidlertid aldre højere end 39.000 år (Pedersen & Petersen 1997) hvilket sammen med datering af en anden mammutkindtand fra Rønde med en endelig alder på ca. 42.000 år blot viser, at isfremstødene er yngre end de fundne mammutrester.

Aldrene på mammuttænderne fortæller naturligvis også, at der herskede isfrie og arktiske forhold på land for omkring 40.000 år siden ikke blot omkring det sydlige Djursland, men også i det meste af det danske område (Fig. Boks 1, A). Samtidig udgjorde Kattegat lavningen en havbugt der var forbundet med verdenshavet gennem den dybe Norske Rende. Undersøgelse af plante- og insektrester fra søaflejringer på Sejerø i det nordlige Storebælt, der har samme alder som mammutresterne, viser at der har hersket lav-arktiske forhold med sommertemperaturer på 8-10 °C og med en vegetation præget af træløs dværgbusk hede, der har indgået som en del af mammutsteppens plantedække (Bennike et al. 2006).



Figur 7: Kattegat Till (nederst) overlejret af Tebbestrup Formationen og Grenå Till (øverst). Klinten ved Esby, Helgenæs. Foto M. Houmark-Nielsen.

Boks 1: Istider og kronologi

Kvartærtidens hurtige klimasvingninger har medført en stadig vekslen mellem kolde istider og varme mellemistider. Tundrasteppe har afløst den tætte løvskov og arktiske havbugter er efterfulgt af lune sunde og bælder. Vandstanden i havet omkring Danmark steg og faldt med mere end hundrede meter i takt med at isdækkerne voksede og svandt ind. Årsagerne til klimændringerne på vore breddegrader skyldes variationer i jordbanens form samt jordaksens hældning og rotation, hvilket har betydning for hvor meget solstråling der når bestemte dele af jordoverfladen. Under istiderne modtog vore breddegrader mindre stråling end i dag og den nordatlantiske havstrøm, der transporterer tropernes varme til NV-Europa, var i perioder stærkt svækket og fortrængt sydpå. Det Skandinaviske Isskjold voksede og afsmeltning under hver istid betød et skifte mellem maritimt præget klima og perioder med udprægede kontinentale forhold. I de kolde perioder af istiderne herskede den træløse tundra og dværgbusk hede med udbredt permafrost på land, og vore farvande var arktiske. Under disse klimatiske betingelser kunne isskjoldet over Skandinavien nå sin største udbredelse og dække store dele af Danmark og de omgivende områder. Arktiske fjorde og sunde i Skagerrak og Kattegat samt store

opdæmmede søer foran isen i Østersøen havde en forstærkende effekt på gletsjernes flydehastighed og udbredelse. Palæogeografiske rekonstruktioner bl.a. baseret på data fra Molslandets klinger, viser en udvikling hvor hav, land, søer og gletsjere vekslede i størrelse og udbredelse gennem Mellem og Sen Weichsel i SV-Skandinavien (Fig. Boks 1.). Det er disse begivenheder, der over en periode fra ca. 35.000 til ca. 10.000 år siden har ført til dannelsen af istidslandskabet omkring det sydlige Djursland.

Aldersbestemmelser af episoder med isdække er udført ved hjælp af luminescens- og kulstof-14 (^{14}C) metoden. Mellem gletsjer aflejringer i de kvartære lagfølger (till el. moræner) findes sedimenter aflejet af vand- og vind. Hvis disse er aflejet umiddelbart før eller efter nedisningen, vil alderen af denne begivenhed kunne fastlægges med betydelig sikkerhed. Derfor dateres fossiler og sedimenter umiddelbart over og –under tillaflejringer gerne i tætte prøveserier.

Luminescensdatering af feldspat og kvartskorn fra vand- eller luftbårne sedimenter bruges til at fastlægge tidspunktet for aflejring, såfremt sporene af tidligere transport og aflejring er blevet udslettet under solens lys. Sedimentkorn enten opvarmes eller belyses i laboratoriet for at udløse luminescenssignalet, hvis styrke er proportionalt med det tids-

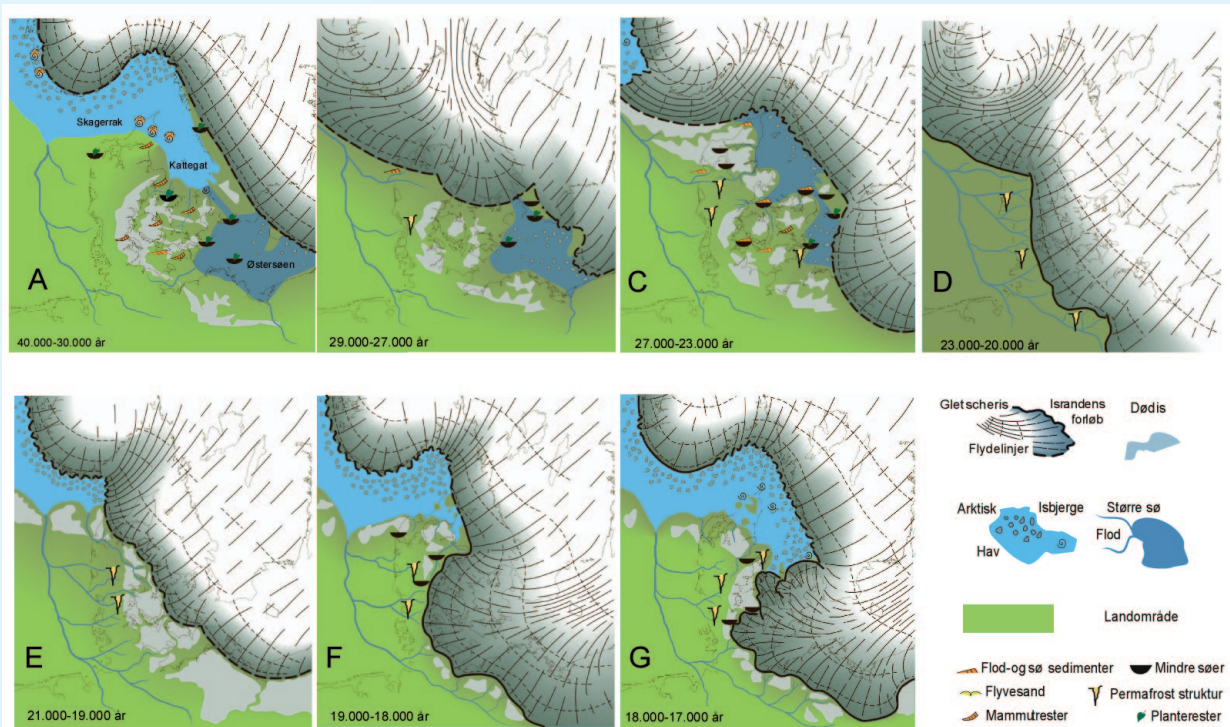


Fig. Boks 1: Rekonstruktioner der viser syv stadier i udbredelsen af land, hav og gletsjere i SV-Skandinavien med angivelse af tydelokaliteter og vigtige fundsteder under den yngre del af Weichsel istiden for mellem 35.000 og 17.000 år siden.

rum, der er passeret siden kornene sidst var eksponeret for sollys. Men hvis kornene ikke har været udsat for tilstrækkeligt sollys under den seneste transport, vil de ikke være tilstrækkeligt "nulstillet" og vil derfor vise for høj en alder, der er arvet fra tidligere eksponering. Dette gælder især smeltevandsaflejringer, dvs. partikler der kun har rejst en kort vej fra udsmeltnings fra gletsjeren til aflejringsstedet, og hvor der er meget opslæmmet materiale i vandet, som "skygger" for sollyset under transporten. De mest pålidelige resultater opnås ved datering af vindbårne sedimenter eller flod- og sø aflejringer fra det isfrie forland. I mangel af egnede sedimenttyper må man imidlertid ty til datering af smeltevandsaflejringer, hvilket har været tilfældet på det sydlige Djursland (Houmark-Nielsen 2008).

¹⁴C datering er en anden meget anvendt metode til aldersbestemmelse af plante- og dyrerester i sedimenter, hvis alder ikke overskrider 40.000 – 50.000 år. *In situ* organisk materiale er at foretrække frem for omlejret, og hvis der ikke er sket forurening med fremmed kulstof, er metoden behæftet med mindre usikkerhed end luminescens. Inden for de seneste år er der udviklet kalibreringsprogrammer, der "oversætter" ¹⁴C år til kalenderår, hvorved det er blevet muligt at sammenligne resultaterne af ¹⁴C datering med andre metoder.

En indirekte aldersbestemmelse bruger omlejrings-

fossiler i tills, f. eks foraminiferer fra marine aflejringer med kendt alder. Et karakteristisk træk ved bestemte till-formationer omkring det nordlige Bælthavområde er deres rester af kalkskallet plankton fra det såkaldte Græstedler fra Mellem Weichsel, der blev aflejret i arktiske farvande i Vendsyssel, Kattegat og det nordligste Sjælland (Fig. Boks 1, A). Tilstedeværelsen af Græstedlerets marine fauna sandsynliggør at isfremstødet fandt sted i den sene del af Weichsel. Imidlertid er Græstedlerets fauna især i fortyndet og omlejret udgave ikke noget entydigt tegn for alderen, idet ældre havaflejringer kan indeholde et lignende foraminiferselskab. På trods af dateringsmetodernes indbyggede svagheder har det alligevel været muligt at opstille en kronologi for Weichselistidens sene del, hvor det Skandinaviske Isskjold nåede sin største udbredelse (Houmark-Nielsen & Kjær 2003). Inden for et relativt kort tidsrum (30.000-15.000 år) berørte tre episoder med nedisning det sydlige Djursland. Det var kortvarige begivenheder, som kan knyttes til dynamiske ændringer i den perifere zone af isskjoldet. Senglaciatidens hurtige opvarmning, der begyndte for ca. 15.000 år siden, medførte at rester af isskjoldet var smeltet helt bort fra Danmark ca. 5.000 år senere. Det er denne kronologi der ligger til grund for den geologiske historie, der kan fortælles om det sydlige Djursland under afslutningen af den seneste istid.

En isstrøm fra Norge og Kattegat Issøen

Den arktiske havbugt, der havde dækket Kattegat det meste af Mellem Weichsel, blev afsnøret fra Atlanterhavet af gletsjere, der flød ud i Skagerrak for omkring 32.000 år siden. Bugten blev omdannet til en sø, Kattegat Issøen, hvor igennem en gletsjer fra Oslofjorden for knap 30.000 år siden strømmede ud og nåede kystområderne omkring det nordlige Bælthav (Fig. Boks 1, B). Kattegat Isstrømmen, der invaderede Djursland fra nordlige retninger, aflejrte Kattegat Till, en grå, leret, op til 4 m tyk till med et højt indhold af krystallinske bjergartsfragmenter. Denne till indeholder også omlejrte skalfragmenter fra den tidligere havbugts lerede aflejringer, kaldet Græstedleret. Kattegat Till, der overlejres af Tebbestrup Formationen, findes langs Molslandets kyster ved Mols Hoved; klinerne ved Ørby, Esby (Fig. 7) og Lushage på Helgenæs og ved Elsegårde. Da Kattegat Isstrømmen gik i stå blev Kattegat Issøen genåbnet (Fig. Boks 1, C) og mens der i de dybere dele af søen afsattes ler med sten tabt af isbjerge, aflejrtes sand og grus i floder, der mundede ud i søen. Langs bredderne kunne store deltaer udbygges i takt med tilførslen af sand og mudder. De tilhørende sedimenter udgør den nedre del af

Tebbestrup Formationen, og er fundet ved Mols Hoved, Esby Klint og Fuglsø Strand. På det sydlige Djursland overgår den nedre, lerede del af formationen til sandede aflejringer, der viser at isen i Kattegat smeltede bort mens floder fra den sydlige del af landet fandt afløb i den isdæmmede sø, hvor kystaflejringer og deltagekler bredte sig mod nord.

Hovednedisningen

I toppen af de sandede aflejringer, der blev dannet nær Kattegat Issøens bredder, findes erosionsrender med grusede og stenede flodaflejringer, afsat af vest- og sydgående smeltevandsstrømme. Den dybt nedskårne Tebbestrup Formation varsler anmarch af et fornyet isfremstød, nemlig Hovedfremstødet. Fra isskjoldet bredte store floder sig ud i forlandet, da isen fra nordøst bredte sig ind over Jylland. Da gletsjerne gik i stå langs Hovedstilsstandslinien gennem Midtjylland dannede floderne store smeltevandssletter, der fandt afløb mod vest (Fig. Boks 1, D). På det sydlige Djursland aflejrte isskjoldet den gråbrune og stenede Grenå Till med sit karakteristiske indhold af Kinnediabas fra Mellem Sverige og Katholmblokke fra Kattegat foruden omlejrte foraminiferer fra Græsted-

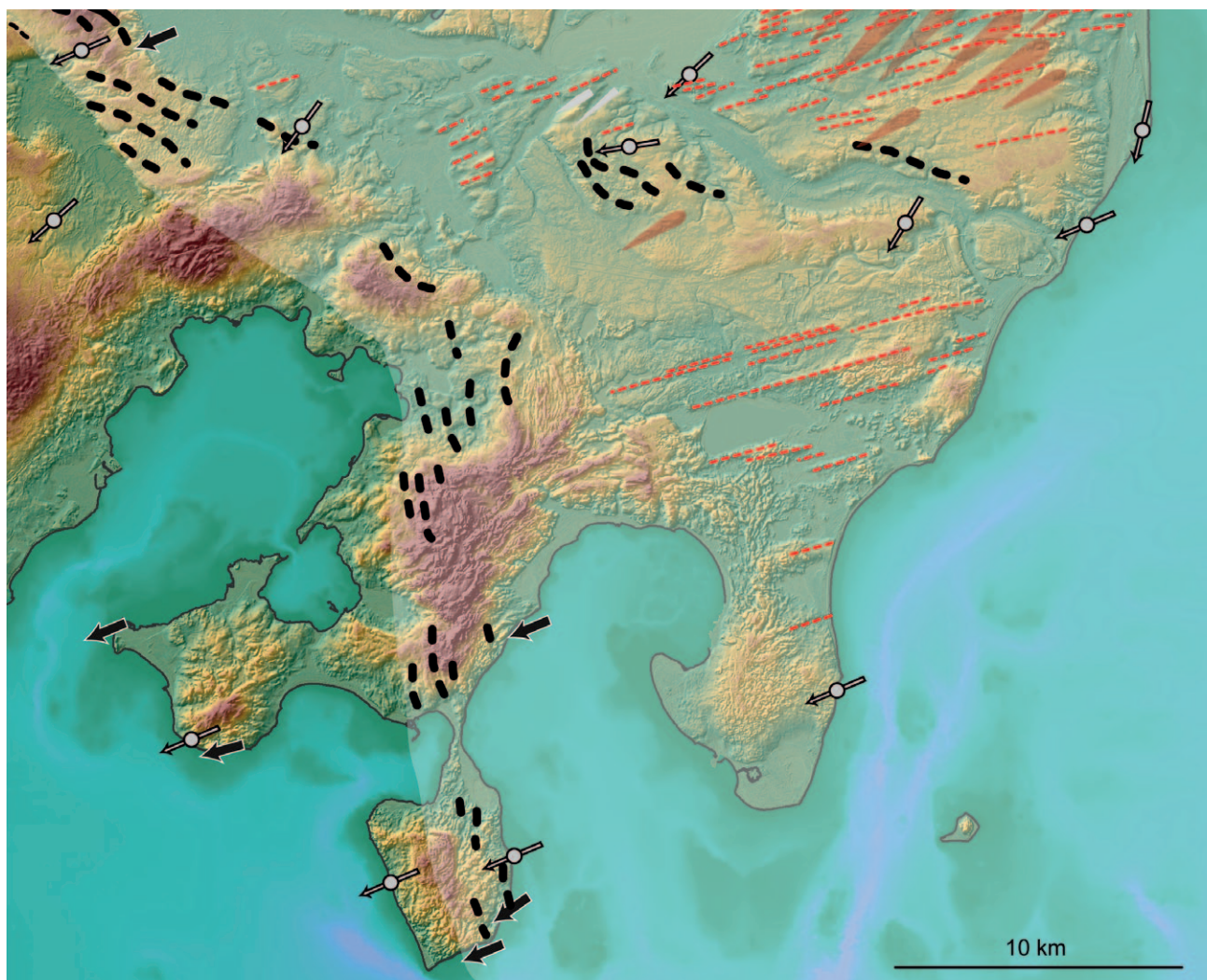


Fig. 8: Højdemodel over det sydlige Djursland med fremhævede terrænformer dannet under Hovedfremstødet. Det skyggede område markerer den sandsynlige udbredelse af Nordøst-isens genfremstød. Retningsindikatorer efter Petersen & Rasmussen (1987); Houmark-Nielsen (1987); Larsen & Kronborg; Pedersen & Petersen (1997).

leret (Fig. 5). Grenå Till kan genfindes i klinerne omkring Skøds Hoved, Mols Hoved, Ørby, Esby, Lushage, Fuglsø Strand, Elsegårde og Glatved Strand samt på den strømlinede moræneflade ved Ebdrup.

Landskaberne dannes

Under Hovedfremstødets afsmeltning gjorde isranden flere gange ophold eller foretog ligefrem genfremstød fra nordøstlige retninger (Fig. Boks 1, E). På det sydlige Djursland har et større genfremstød dannet de nordvest-sydøstgående storbakkede randmorænestrøg med den bagvedliggende strømlinede moræneflade, der har langstrakte udtværede småbakker i

overfladen liggende parallelt med isens flyderetning (Fig. 8). Disse randdannelser fortsætter som kuplede højdeområder ind under den del af Mols, der er overpræget af den Ungbaltiske Isstrøms aflejringer. De mest fremtrædende af NØ-isens randdannelser synes at ligge i et bælte fra området nordøst for Rosenholm lavningen gennem det centrale Mols Bjerge og Helgenæs med fortsættelse sydpå gennem Storebælt. I kysterne ved Fuglsø Strand, Lushage og Esby klint, ses et snit gennem de delvist nedhøvede randmoræner. Her er NØ-isens afsmeltningssedimenter, der overlejrer Grenå Till samt store dele af den underliggende lagfølge foldet og overskudt fra nordøstlige retninger.

I det uforstyrrede morænelandskab i områdets nordøstlige del kan to systemer af få meter høje, lang-

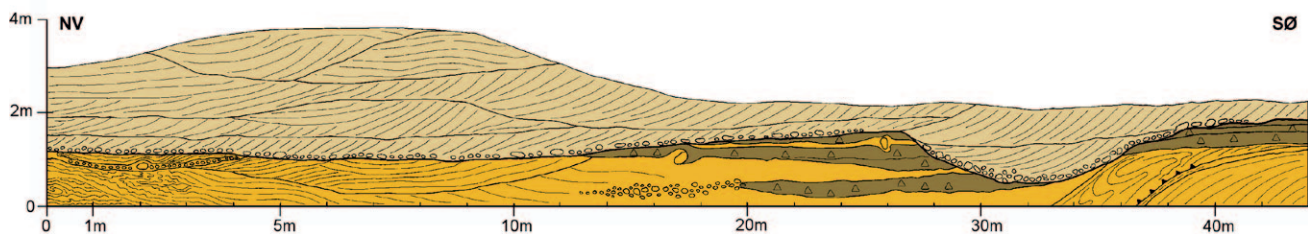
strakte terrænformer genkendes: En ældre terrænsribning bestående af adskilligt hundrede meter brede nordøst-sydvestgående bølgede strøg og en yngre østnordøst-vestsydvestgående terrænsribning, der består af smalle retlinede højedrag op til 10 km lange. Det ældre system tilhører sandsynligvis til Hovedfremstødets overskridelse af området på vej mod Hovedstiltandslinien, mens de yngre af NØ-isens retningsbestemte landskabsformer kan knyttes til flydemønstret under afsmeltningsskaderne over Djursland. De strømmede former er dannet under isen mens den var i bevægelse og udgør en iøjnefaldende del af morænefladen i de ældre randmoræners bagland. Indenfor den Ungbaltiske Isstrøms domæne kan disse terrænformer stadig anes gennem et tæppe af yngre smeltevandssedimenter i dødisterrænet mellem Stubbe Sø og Tirstrup Hedeslette, mens de forsvinder helt ved mødet med de store randmoræner, Molsbuerne, eller hvor de er begravet under et tykt dække af den randnære smeltevandsslettens sand og grus.

Efter NØ-isens bortsmeltning fra det sydlige Djursland fremstod et landskab opbygget af landstrakte randmoræner med flager af tidligere isfremstøds aflejringer samt store partier dødis indlejret i bakkeknunderne. Den bagvedliggende strømmede moræneflade med sin karakteristiske terrænsribning og et sporadisk dække af dødis blev gennemskåret af smelte-

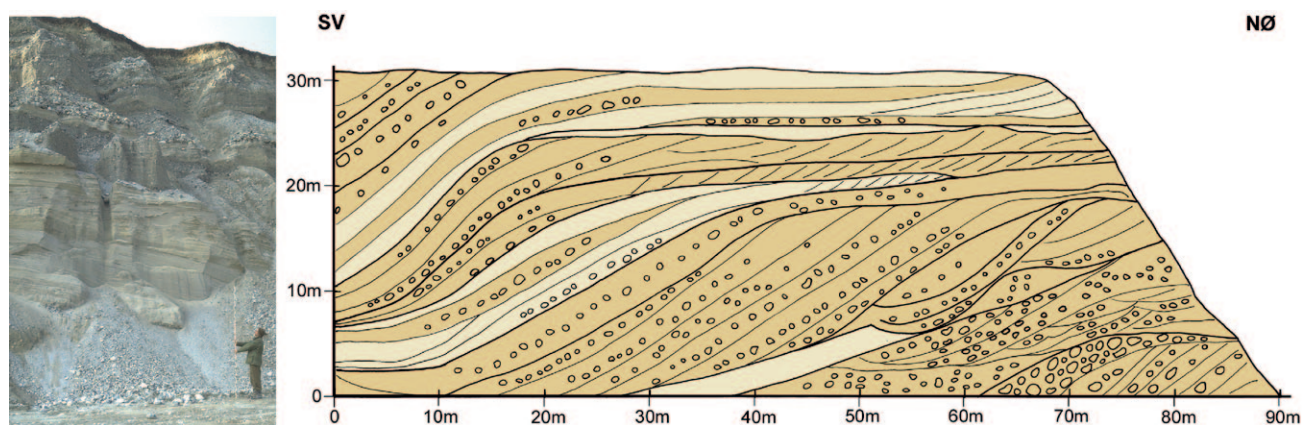
vandsfloder. Den successive nedsmeltning af dødisområder begravet i Hoed Ådal og lavningerne, der i dag udgør Kolindsund, kan have haft indflydelse på smeltevandsslettens afløbsveje.

Den Ungbaltiske nedisning

Den Ungbaltiske Isstrøm ramte det sydlige Djursland for omkring 18.000 år siden efter et kort interval uden aktivt isdække. Isstrømmen skød sig gennem Østersølavningen og bredte sig vifteformet mod vest (Fig. Boks 1, F). Den højre flanke standsede i Østjylland, hvor den på det sydlige Djursland kolliderede med de ældre randdannelser fra NØ-isens afsmeltning og dannede i flere tempi de yngre randmoræner, Molsbuerne. Nord for isranden i det sydlige Djursland banede smeltevandsfloder sig vej langs dalstrøg på den strømmede bundmoræne, eller hvor den frie afstrømning var begrænset opstod større isdæmmede søer i langstrakte lavninger mellem højedragene i det storbakkede randmorænelandskab. På flodsletterne blev Grenå Till og den underliggende Tebbestrup Formation udsat for erosion og blev dækket af mægtige grovklastiske smeltevandsaflejringer (Fig. 9). Flodslettens sedimenter bliver mere finkornede nedstrøms på vej mod udløbet i det arktiske hav, Yoldia Havet, nord for Grenåhalvøen, ligesom kornstørrelsen aftager mod toppen i profilerne grundet den aftagende vandføring efterhånden som afsmeltningen skred frem. Den Ung-



Figur 9: Tebbestrup Formationen (orange) og Grenå Till (brun) overlejret af Tirstrup Formationens grovkornede smeltevandssedimenter (grøngul), der skærer sig dybt ned i sit underlag. Grusgrav på Ebdrup Mark. Efter Pedersen & Pedersen (1997).

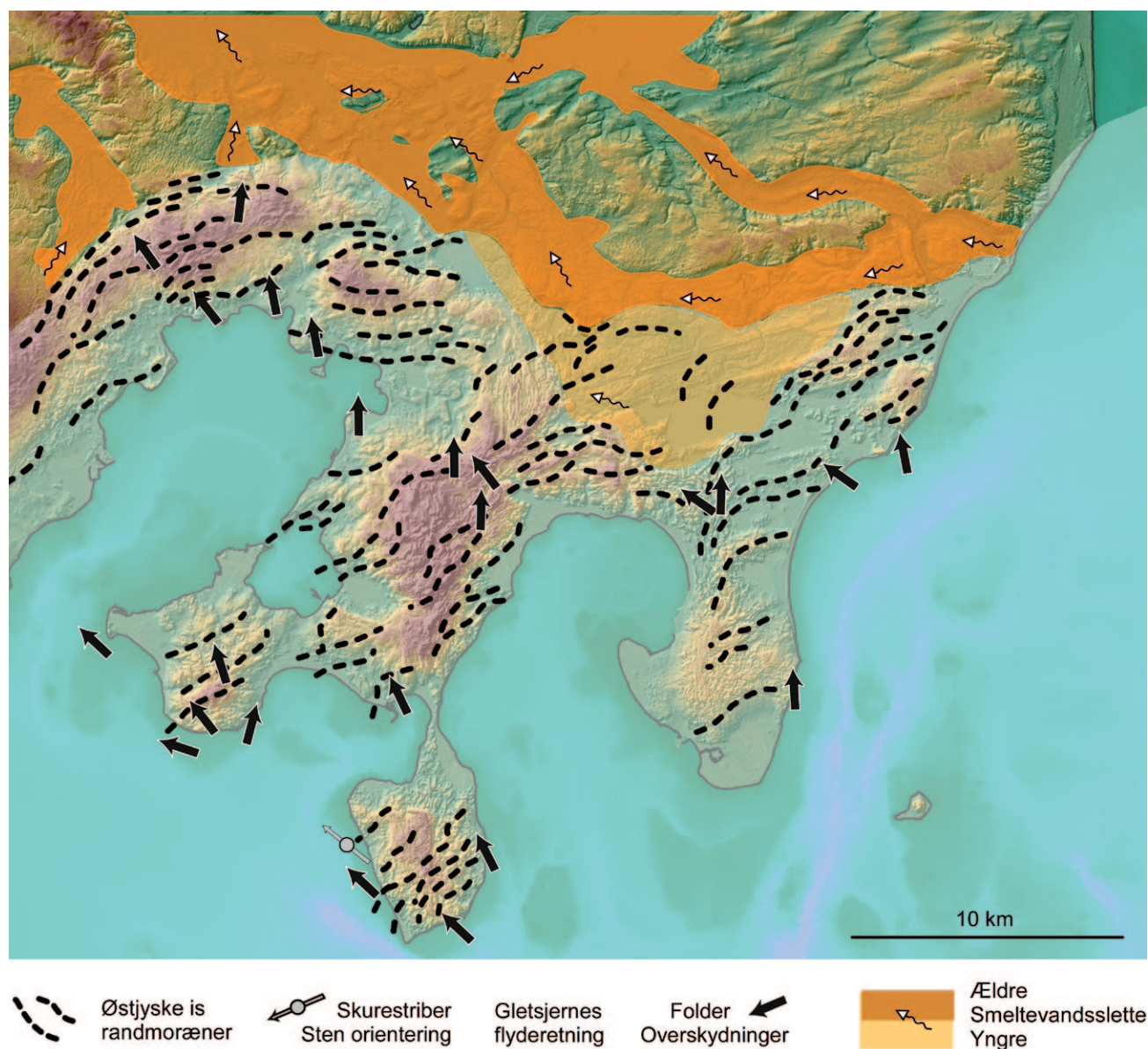


Figur 10: Delta dannet i kontakt med isranden ved Glatved grusgrav. Efter Pedersen & Petersen (1997).

baltiske Isstrøms yderste position markeres af de bueformede randmorænebakker, der grænser op til den isdæmmede sø i Rosenholm lavningen og visse dele af de højeste flader på Tirstrup smeltevandsslette. I andre tilfælde markeres den tidligere isrand af grænsen mellem det ungbaltske dødislandskab og de højere liggende smeltevandssletter. I enkelte tilfælde fandtes mindre opdæmmede søer langs iskontakten, hvor der er afsat større deltakegler f. eks. ved Rostved og Glatved (Fig. 10).

En forklaring af dynamikken omkring Molsbuernes dannelse, der strider mod den gængse opfattelse, er de senere år vokset frem med basis i nyere teoretiske

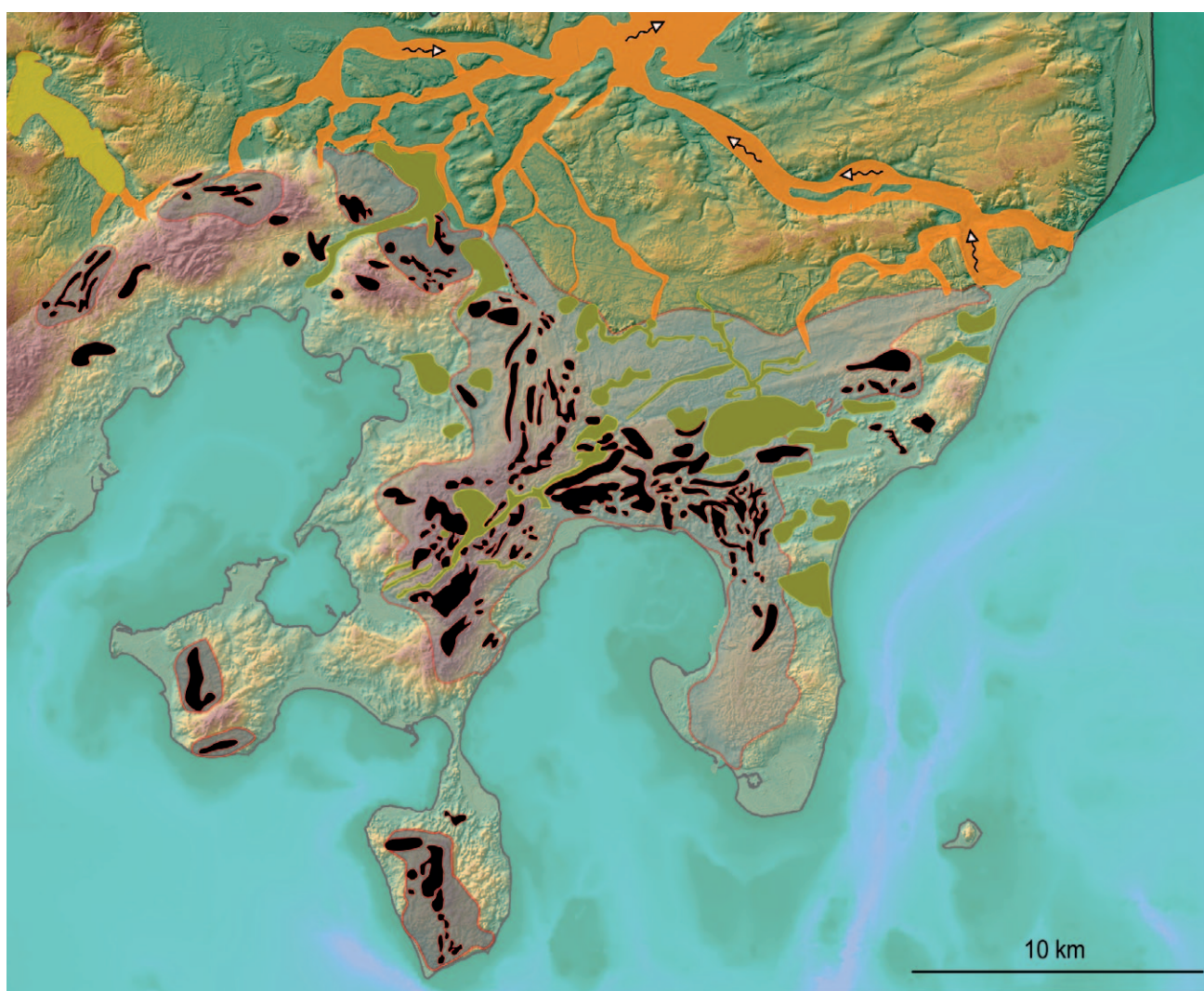
arbejder, analyse af digitale højdemodeller sammenholdt med det geologiske jordartskort og støttet af stratigrafiske studier. I denne fremstilling er de yngste landskabselementer nemlig dødisbakkerne "løftet bort" og lader de egentlige randmoræner dannet ved isens tryk træde frem (Fig. 11). Disse ses at være knyttet til invasion af den Ungbaltske Isstrøm fra sydøstlige retninger. De kvartære lagfølger fra Sen Weichsel så vel som ældre kvartære dannelser samt løsrevne flager af paleocæne og eocæne sedimenter opbygger de randmorænebakker, der med undergrundens leerede aflejringer som smøremiddel blev stablet i flager og skudt sammen efterladende større lavninger, der



Figur 11: Randmoræner og spor efter isbevægelse samt smeltevandssletter med afløbsretninger dannet under den Ungbaltske Isstrøms aktive fase på det sydlige Djursland. Det skyggede område viser udbredelsen af den Ungbaltske Isstrøm. Retningsindikatorer efter Gry (1935); Wienberg Rasmussen (1977); Houmark-Nielsen (1983, 1987); Larsen & Kronborg (1994); Pedersen & Petersen (1997).

hvor materialet til israndsbakkerne var hentet fra (Fig.11). Det er sandsynligt, at isen der dannede Kalø Vig lavningen og bakkerne mod nordvest, udgør første fase i Molsbuernes udformning. Denne yderste del af gletsjeren blev herefter afsnøret fra hovedstrømmen og overgik til dødisstadiet. Efterhånden som større og større dele af isfronten gradvist mistede kontakten med den aktive gletsjer, blev yngre randmoræner dannet længere mod sydøst. Ved et fornyet fremstød dannedes randmorænerne gennem Tved halvøen, det centrale Mols til sydranden af Tirstrup smeltevandssletten ved sammenskubning af sedimenter, der befandt sig der, hvor lavningen omkring Begtrup Vig, Ebeltoft Vig og Stubbe Sø er i dag. Selve Tved halvøen gennemskæres i nordøst-sydvestlig retning af et par markante bak-

kerygge og et dalføre med den langstrakte Tillerup Sø. Netop der hvor ryggen møder sydkysten findes de store overskydninger i klinten ved Mols Hoved, der viser istryk fra sydøst. Et endnu yngre fremstød kan have dannet randmorænerne langs vestsiden af Ebeltoft Vig, syd og øst om Stubbe Sø i retning mod Rugård. Foran randen afsattes den højtliggende smeltevandsslette på dødisen mellem Stubbe Sø og Tirstrup hedeslette. Senest har genfremstød dannet randmoræner gennem Helgenæs og Ebeltoft halvøen. Denne fremstilling rykker ikke ved det klassiske forløb af den Ungbaltiske Isstrøms yderste rand, som beskrevet af Poul Harder (Boks 3), med det foreslås at denne linjeføring er sammenstykket af aldersforskellige afsnit, der er ældst mod nordvest og yngst mod sydøst.



Figur 12: Dødisnedsmeltning under den Østjyske Isfremstød passive fase. Et dødislandskab med markante issøbakker draperer israndslandskabet. Smeltevandet havde afløb mod øst gennem Kolindsund. Efter Wienberg Rasmussen (1977) og Houmark-Nielsen (1983).

I det sydlige Djursland blev Ebeltoft Till afsat ved basis af den aktivt flydende Ungbaltiske Isstrøm, og efterhånden som afsmeltningen skred frem, skete også aflejring af till-lignende sedimenter i isens afsnørede randområder. Denne chokoladebrune till findes som overfladesediment i de lavere liggende dele af det sydlige Djursland og kan ses i kystklinerne ved Skøds Hoved, Mols Hoved, Ørby og Elsegårde. Den har strukturer arvet efter isens flyderetning, der viser bevægelse fra sydøst og karakteriseres af bjergartsstumper bestående af sandsten, kalksten og skifre fra Østersøens bund samt baltiske ledeblokke fortrinsvis fra Ålandsøerne. Nordvest for Ebeltoft Færgehavn findes Ebeltoft Till i mere sandede og lagdelte udgaver, der er smeltet ud af isfronten og gledet ned til sin nuværende position, og denne særlige udgave danner en naturlig overgang til de bedre sorterede iskontakt-sedimenter beliggende højt i israndsbakkerne.

Nedsmeltningsfasen

Da den Ungbaltiske Isstrøm gik i stå over det sydlige Djursland, begyndte nedsmeltningen af den inaktive ismasse, mens isstrømmen stadig var aktiv længere mod syd i Storebælt (Fig. Boks 1, G). Smeltevandfloderne, der udgik fra den nedsmeltende is, skiftede retning over Djursland idet afløbet blev forlagt gennem Hoed Ådal til Kolindsund (Fig. 12), der mod øst udmundede i det arktiske hav ud for Grenå. Denne omlægning skete samtidig med at yngre smeltevanddale havde skåret sig ned i Tistrupsletten, hvilket formentlig skyldes, at landhævnningen i det nordlige Djursland og Randersområdet efter NØ-isens borts-meltning havde nået højder, der forhindrede afløb mod nord, ligesom den formodede dødis, der havde blokeret afløb mod øst, var smeltet bort.



Figur 13: Yngre smeltevanddal mellem issøbakker i Mols Bjerge. Foto: Nationalpark Mols Bjerge. Kulturmiljøer i Århus Amt. molsportalen.dk

I lavninger og huller i det store dødisdække bag isranden blev der efterhånden dannet en række isdæmmede søer hvor sand og grus kunne aflejres på

bunden, mens søerne voksede i størrelse i takt med at isen langs bredderne smeltede. De tidligere søers bundlag, der kan nå 10-tals meter i tykkelse, befinder sig i dag i de højeste dele af terrænet og findes op til 130 m over havet. Deres udbredelse og retning giver et fingerpeg om sprækkemønsteret i dødisen, mens deres højde afspejler isens tykkelse. Issøbakkerne er bedst bevaret, der hvor de største og længst eksisterende isdæmmede søer fandtes. Deres lagdelte sedimenter er ikke forstyrret af aktivt ispres, men kan være deformeret i forbindelse med udglidning og borts-meltning af den dødis, der understøttede søernes bredder. Også lavere i terrænet er der spor af dødis-nedsmeltning, således er store dele af landskaberne på Mols klassificeret som dødislandskaber (Wienberg Rasmussen 1977). Nye morfologiske studier har kunnet udvide disse områder, der kan vise sig at have en endnu større udbredelse end vist her (Fig. 12). Dødisområderne gennemskæres af talrige dale og slugter, der har fungeret som afløb for smeltevand (Fig. 13), og under nedsmeltningens slutfase opstod større eller mindre dødishuller, dvs. lavninger i terrænet, hvor de sidste rester af begravet dødis langsomt smeltede bort. De største dødishuller opfyldes i dag af Korup Sø og Stubbe Sø, men mere iøjnefaldende er de mindre, men stejle dødishuller mellem dødisbakkerne i selve Mols Bjerge (Fig. 14).



Figur 14: Dødishul, Mols Bjerge. Foto: Kulturmiljøer i Århus Amt. molsportalen.dk

Senglacial

Som følge af det stadig varmere klima, der indtraf ved sidste istids afslutning, smeltede dødisen hurtigt og det ustabile landskab blev udsat for kraftig erosion. Under disse forhold dannedes talrige regnkløfter og kildedale, der har ledt vandet bort mod lavere liggende områder. Smeltevand og nedbør samledes i åer og floder, der skar sig dybt ned i underlaget mens landet langsomt hævede sig, nu isens vægt var fjernet. De største af disse flodløb anes i dag som dyberender i havbunden syd og øst for Mols (Fig. 12). Sam-

men med jordflydning og dannelse af skredterrasser, der er særligt iøjnefaldende i områder med plastisk ler i skrænter og klinger, medførte erosionen en udligning af det relief rige istidslandskab hen i mod det, vi kender i dag.

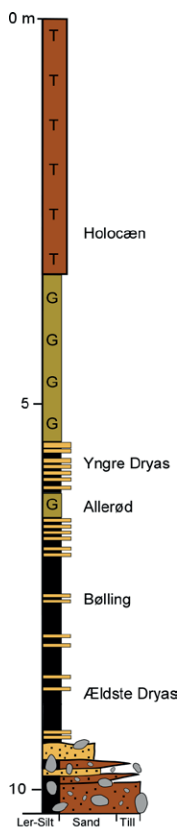


Figur 15: Rosenholm lavningen set mod sydøst ud over den nu udtørrede sø fra Holocæn. Den senglaciale sø havde større udbredelse end den holocæne og var afgrænset af randmorænen langs den Østjyske isrand i baggrunden. Foto: M. Houmark-Nielsen.

I den seneste del af istiden indvandrede den kuldeelskende dværgbusk hede på ny og rester af denne flora blev skyllet ud i søer og lavninger hvor de i f. eks. Rosenholm lavningen er bevaret i lagdelte finkornede sedimenter 5-10 m under den nu udtørrede søs overflade (Fig. 15). Senglaciale lag på Mols har kun lejlighedsvis kunnet studeres i et lille profil ved Fuglsø Strand. Foruden det meste af Holocæn dækker lagfølgen fra Rosenholm senglacialtidens Ældste Dryas fra ca. 16.000 år siden hvor først mudderstrømme og sand blev skyllet ud i søen senere afløst af lamineret issøler, der afsattes i søens dybere dele. Herefter indtraf fra 14.700 til 12.500 år siden en mildning klimaet under Bølling-Allerød interstadialerne, hvor en åben birkeskov til slut havde slået rod i søens omgivelser (Fig. 16). Et detailstudie fra Rosenholm lavningen af dele af dette lune senglaciale tidsrum har godtgjort, at ferskvandsfaunaen og de geokemiske forhold afspejler de samme klimasvingninger, som kan findes i de grønlandske iskerner hvilket viser, at det lokale klima i Djursland var i fase med de senglaciale klimaforandringer, der for 14.300 til 13.000 år siden fandt sted i hele det nordatlantiske område (Jacobsen 1999). I Yngre Dryas vendte klimaet tilbage til istidslignende forhold med aflejring af lamineret ler hvor i der findes sparsomme rester af en arktisk flora. Klimaforværringen betød også at dødisens endelige afsmeltning blev udsat indtil begyndelsen af Holocæn for 11.500 år siden, hvor den klimatiske opvarmning for alvor tog fat.

Holocæn

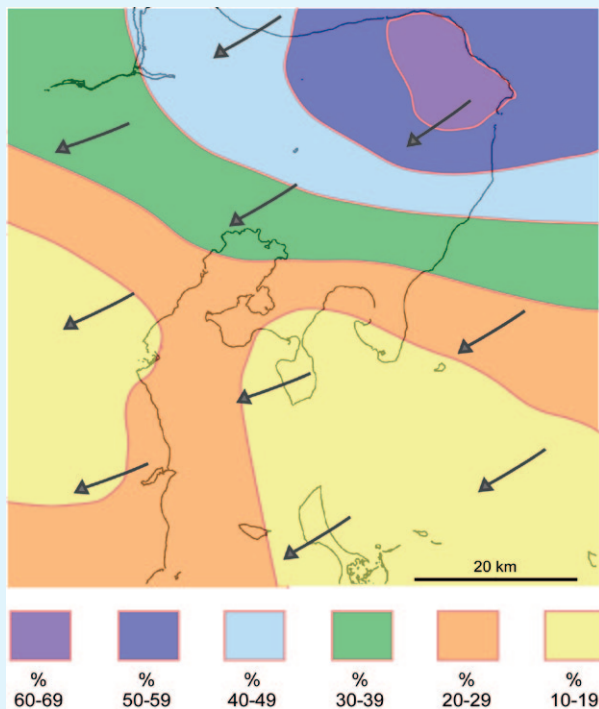
Boringer fra Korup Sø gennem en fragmentarisk lagfølge fra Senglacial og begyndelsen af Holocæn viser, at dødisen var reduceret så meget i Allerød-Yngre Dryas, at der var opstået et søbassin, der var under stadig indsynkning på grund af nedsmeltning af den efterladte gletsjeris. I modsætning til Rosenholm lavningen blev aflejring af ferskvandssedimenter i Holocæn afbrudt af en hurtig havspejlsstigning i begyndelsen af Atlantiskum for ca. 9000 år siden, hvor Korup Sø blev forbundet med Litorinahavet (Stenalderhavet) gennem en del af Kolindsund (Iversen 1937). I boringer gennem havbunden ud for Glatved er der fundet tørv og andre planterester på dybder, der viser at havet steg mere end 30 meter (Larsen & Knudsen 1983). Havstigningen fandt sted i løbet af kort tid som følge af, at resterne af det nordamerikanske isskjold hurtigt smeltede bort under optakten til det holocæne varmeoptimum. Vandstanden i verdenshavene nåede sin største højde for ca. 6500 år siden, hvor den stort set har befundet sig indtil i dag. Den efterfølgende landhævning i de tidligere nedisede områder har betydet at Litorinahavets kystkliner og strandaflejringer i dag ligger over nutidens havniveau. På det sydlige Djursland findes foden af de højeste kystkliner og den hævede havbund i 3-4 meter over nuværende havniveau højest i områdets nordøstlige del (Fig. 17). Udbredelsen af Litorinahavet var større end



Figur 16: Standardboreprofil til en dybde på ca. 10 m gennem den tørlagte Rosenholm lavning har afsløret et næsten ubrudt sedimentationsforløb, der dækker de seneste ca. 16.000 år af Senglacialtiden og Holocæn. G: Gytje, T: Tørv. Efter Villumsen (1973) og Jacobsen (1999).

Boks 2: Det skandinaviske isskjolds dynamik

Som den første redegjorde Poul Harder (1908) for nedisningsforløbet på det sydlige Djursland og for dannelsen af randmorænerne på Mols, der er den nordligste del af den Østjyske Israndslinie (Boks 3). Dette arbejde fik afgørende betydning for den senere til tider noget ophedede diskussion af sidste istids nedisningsforløb over Danmark, hvis resultat blev dannelsen af to "isdynamiske skoler". Den ene hildede den monoglaciale nedisningsmodel og den anden foretrak den polyglaciale nedisning. Bannerførere for den monoglaciale opfattelse blev Vilhelm- og Keld Milthers mens Svend Aage Andersen var fortaler for den polyglaciale. Området omkring det sydlige Djursland spillede en vigtig rolle denne disput. Stridens kerne var S.A. Andersens (1927, 1933, 1945) hypotese, der på baggrund af stratigrafiske studier sandsynliggjorde, at det Skandinaviske Isskjold flere gange under sidste istid invaderede Danmark fra norske, svenske og baltiske oplande adskilt af perioder uden isdække, hvor der herskede forhold, som kendes fra nuværende tundradækkede områder. De to yngste isfremstød var Hovedfremstødet eller "Nordøstisen" og det Ungbaltiske fremstød



Figur Boks 2: Det procentvise indhold af Danien kalksten (3-5 mm) i Grenå Till omkring Djursland. Det aftagende kalkindhold nedstrøms skyldes stor udveksling af materiale mellem gletsjeren og dens underlag, i dette tilfælde kalkundergrunden. Pilene angiver isens flyderetning. Efter Kjær m. fl. (2003).

eller "Sydøstisen". V. Milthers (1932) og K. Milthers (1942), der især baserede deres argumenter på forekomsten af ledeblokke, modtog Andersens anskuelse og antog at isskjoldet dækkede landet øst og nord for Hovedopholdslinien (Fig. Boks 1, D) under størstedelen af Weichsel og at dets indre dynamik medførte strømninger fra de nævnte oplande uden mellemliggende afsmeltningfaser. Som konsekvens af den monoglaciale nedisning anså V. Milthers (1948) desuden enhver glacial landskabsform for dannet i forbindelse med den yngste fase af udviklingen i dette ene store isdække inden for en given del af Danmark.

Molslandets glacial landskaber og ledebloktællinger i strand- og marksten gav K. Milthers (1942, 1952) anledning til at fastholde et særligt træk ved dette israndsområde, idet han mente at kunne spore en forskel i blokinholdet langs kystegnene i de to lavninger omkring Ebeltoft Vig og Kalø Vig. Forskellen skyldtes, at to smalle isstrømme med udgangspunkt i hver sin del af Østersøen skulle have banet sig vej nordpå, én gennem Lillebælt og én gennem Storebælt. Under denne yngste fase i nedisningen dannede strømmene hver sin inderlavning, med Mols Bjerger klemte inde mellem de to. Isskjoldet havde kort forinden haft ophold langs Harders Østjyske Israndslinie under den generelle tilbagesmeltning fra Hovedstilsandslinien. Da en forskel i sammensætningen af ledeblokke langs kysterne af de to lavninger ikke har kunnet eftervises og da isens bevægelse alene er fundet at have været fra sydøstlige og sjældnere fra sydlige retninger, som allerede antydte af Henning Wienberg Rasmussen (1977), er et forslag til revision af den klassiske model givet i hovedtekstens afsnit om den Ungbaltiske Isstrøm. Denne model er ikke tidligere fremlagt og strider mod den gængse opfattelse, der hylder indtrængning af to sydfra kommende istunger. Til gengæld støttes den af en række nyere arbejder, der behandler flydemønstre og landskabsformer omkring randen af isstrømme (Stokes & Clark 1999, 2001; Kjær m.fl. 2003).

Kontroversen om én eller flere nedisninger adskilt af isfrie forhold inden for den sidste istid ebbede ud i anden halvdel af 1900-tallet. Kjeld Thamdrup's (1970) arbejde på klinten ved Mols Hoved markerer overgangen mellem den Miltherske opfattelse af nedisningsforløbet og Andersens mere dynamiske model. Thamdrup beskrev en lagfølge, der afspejler isfremstød fra flere gletsjeroplande (norsk, mellemsvensk og baltisk) adskilt af isfrie faser, dog tilpasset den monoglaciale opfattelse. S.A. Andersens hypotese cementeredes endeligt, da gruppen af yngre geologer og studerende omkring Asger Berthelsen efterhånden fremlagde afgørende vidnesbyrd til

fordel for det polyglaciale nedsningsforløb (Berthelsen 1973, 1978, 1979).

Imidlertid er diskussion af selve isskjoldets dynamik ikke forstummet. Med baggrund i analyser af gletsjernes flydemønster og stenindholdet i de enkelte till-formationer bl.a. på det sydlige Djursland kan der i dag skelnes mellem to former for glaciation. Den ene knytter sig til hurtigt flydende smalle isstrømme inde i selve isskjoldet, og som i det isfrie forland har bredt sig som tungeformede udbrud fra randområdet. Den anden er knyttet til i fremstød, der som langsomt flydende gletsjeris invaderede over en bred front (Kjær m.fl. 2003).

Gletsjere der i sidste istid invaderede Jylland fra nordøst indeholder foruden mellemstenske blokke også stumper af bryozokalksten fra det nordøstlige Djursland. Grenå Till er afsat af et isfremstød fra det mellemste Sverige og det ses, at der hvor kalken når højt i undergrunden, har den et meget stort indhold af kalksten fra Danien, som imidlertid hurtigt aftager fra nordøst mod sydvest langs isens flydelinjer (Fig. Boks 2). Den høje koncentration og efterfølgende aftagen af kalkindholdet opnås sandsynligvis ved stor udveksling mellem gletsjeren og dets underlag, hvilket netop er karakteristisk for den langsomt flydende ismasse. Dette betyder at kalkfragmenterne villigt optages i gletsjeren, men efter som andet materiale fra underlaget optages med samme lethed, medfører det en lige så effektiv nedstrøms fortynding. Glet-

sjere, der har overskredet Molslandet fra nordlige retninger fører ikke blot blokke fra Oslo-området og Skagerrak, men har også i nogen grad slæbt dele af den lokale undergrund fra det nordlige Djursland med sig. Gletsjere, der er kommet fra sydøst, har foruden bjergarter fra Østersøens bund flager af Paleocæn mergel og plastisk askeførende ler fra Eocæn. Men tills afsat af norske og baltiske isfremstød har vist sig langt mindre tilbøjelige til at tabe materiale nedstrøms på samme måde som isen fra NØ, lige som tilbøjeligheden til at optage lokalt materiale er behersket.

Isstrømme synes at have deres udspring i det sydlige Norge og Østersøen mens de langsomt flydende dele af isskjoldet har haft deres opland i det mellemste Sverige og har invaderet Danmark fra nordøstlige retninger. Kattegat isstrømmen og de baltiske isstrømme, der bredte sig over et underlag af vandmættede finkornede aflejringer med lav permeabilitet, har sandsynligvis haft ringe kontakt med underlaget. I modsætning hertil har langsomt flydende dele af isskjoldet som NØ-isen et højpermeabelt og derfor meget bedre drænende underlag som f. eks. Tebbestrup Formationen i det centrale Østjylland, der har kunnet lede store mængder smeltevand bort fra isens sål, hvilket har virket opbremsende på isbevægelsen og øget interaktionen altså udveksling af partikler mellem is og underlag.



Figur 17: Delvist skovklædt kystklint fra Litorinahavet med foranliggende hævet strandvoldsslette langs Ebeltoft Vig ved Strandkær, Mols. Foto: Bo Skaarup. Nationalpark Mols Bjerger.

Boks 3:

Molslandets istidslandskaber - et tilbageblik

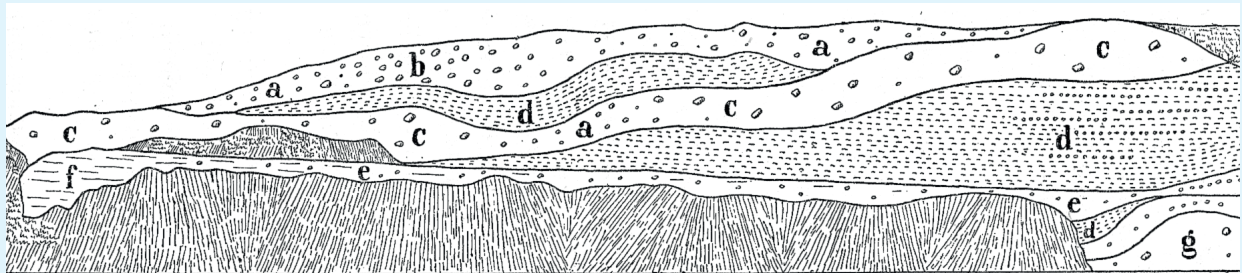
Den systematiske geologiske kortlægning af Danmark begyndte sent i forrige århundrede hvor det sydlige Mols (Helgenæs) indgik i beskrivelsen til kortbladet Samsø (Madsen 1897). Victor Madsen fandt, at overfladen præges bakker med sand og grus med et dække moræneaflejringer mellem afløbsløse lavninger og bratte erosionsslugter, der syntes at være dannet af voldsomme smeltevandsstrømme. Forskelle i stenindholdet i overfladens morænedannelser fortalte Madsen, at mere end et isdække var på spil, dog uden at komme nærmere ind på de stratigrafiske forhold, og det selvom klinternes lagfølger viser, at tre till-bænke findes mellemlejret af lagdelt sand og stenfrit (Fig. Boks 3.1). Først knap 100 år senere kunne denne lagfølge, der med variation kan genfindes de fleste steder på det sydlige Djursland, henføres til tre forskellige isoverskridelser fra slutningen af sidste istid, hhv. fra det sydlige Norge, det mellemste Sverige og Østersøen.

Rundt om Helgenæs kortlagde Madsen gamle kystklinter og strandvolde, der var hævet omkring 4 m over nuværende havniveau. Langs mere beskyttede kystpartier fandtes marint dynd med Litorinahavets varmekrævende lavtvandsfauna. Ved at

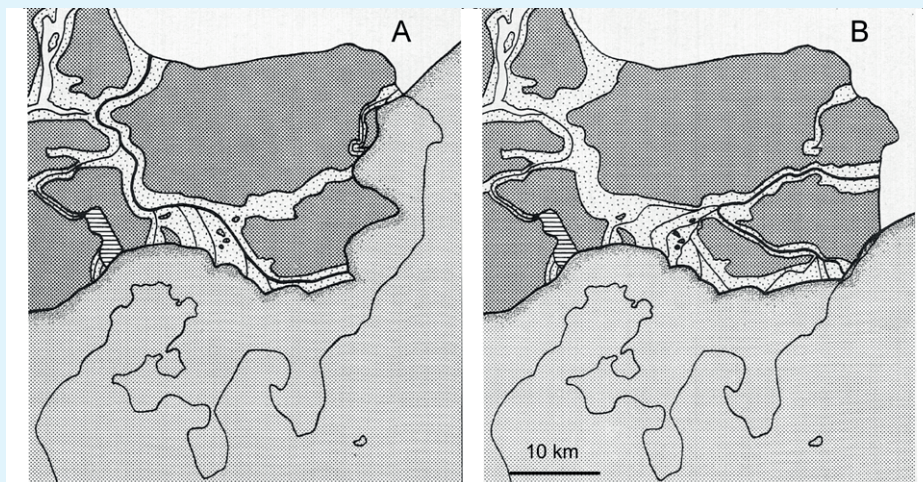
sammenstille de marine aflejringers fossiler med rester i køkkenmøddinger konkluderede Madsen, at det højeste havniveau efter istiden blev nået under Jægerstenalderen. De marine aflejringer hviler på ferskvandsdannelser der indeholder rester af en tempereret flora som viser, at fastlandstidens skove fra tidlig Holocæn blev overskyldet af Litorinahavet i lavtliggende områder.

Istidens terrænformer - Poul Harders arbejde

Studier af de kvartære aflejringer og landskabsformer fik et stort spring fremad, med Poul Harders afhandling i 1908 om den Østjyske Israndslinie. Harder fandt at det østjyske vandskel i store træk følger bakkestrøg, der samtidig adskiller kystnære reliefriige områder fra egne domineret af mere storbakkede landskaber gennemskåret af brede floddale. Mellem de to terrænformer findes ofte mindre stenede og sandede voldformede rygge, ifg. Harder dannet langs randen af en større gletsjer, der var flydt gennem Østersøen til Østjylland. Dette fandt sted efter bortsmeltningen af et ældre isdække, hvis oprindelse lå i Sydnorge og Vestsverige at dømme efter stenindholdet i moræneaflejringerne. Lidt anderledes forholdt det sig på det sydlige Djursland, hvor stenindholdet var mere blandet, hvilket fik



Figur Boks 3.1: Klintprofil sydøst for Esby, Helgenæs (Madsen 1897). Tre till-bænke (g, a-c, a-b) ses mellemlejret af smeltevandsler (f) og –sand (d-e).



Figur Boks 3.2: Stadier i den geologiske udvikling under det Østjyske isfremstød i det sydlige Djursland. A: Ældre stadium under isens maksimale udbredelse med smeltevandets afløb mod nord-vest til Randers Fjord. B: Yngre stadium med smeltevandets afløb gennem Kolind Sund. (Efter Harder 1908).

Harder til at fremsætte den hypotese, at der var tale om opblanding med materiale fra ældre glaciale aflejringer. At disse ældre aflejringer, der nu indgik i randmorænedannelserne på Mols, var tilknyttet isfremstød, der gik umiddelbart forud for det Østjyske, tyder de talrige dødisfænomener i israndsbakkerne på. Harder påviste at hele det sydlige Djursland indgik i et landskabssystem knyttet til randområdet af et isskjold, nemlig den glaciale serie bestående af inderlavning udgravet af bueformede isfremstød, randmoræner skubbet op og stablet sammen af sedimenter langs isens ydergrænse og smeltevandssletten aflejret af floder, der skyllede materiale bort fra isen ud over forlandet. Samme model var få år tidligere fremført af V. Milthers til forklaring af dannelsen af terrænet omkring Vejrhøj-buerne i Odsherred (Rørdam & Milthers 1900). Begge arbejder har vist sig så slidstærke, at de, uden at have mødt seriøs kritik, stort set har stået uanfægtet i mere end hundrede år.

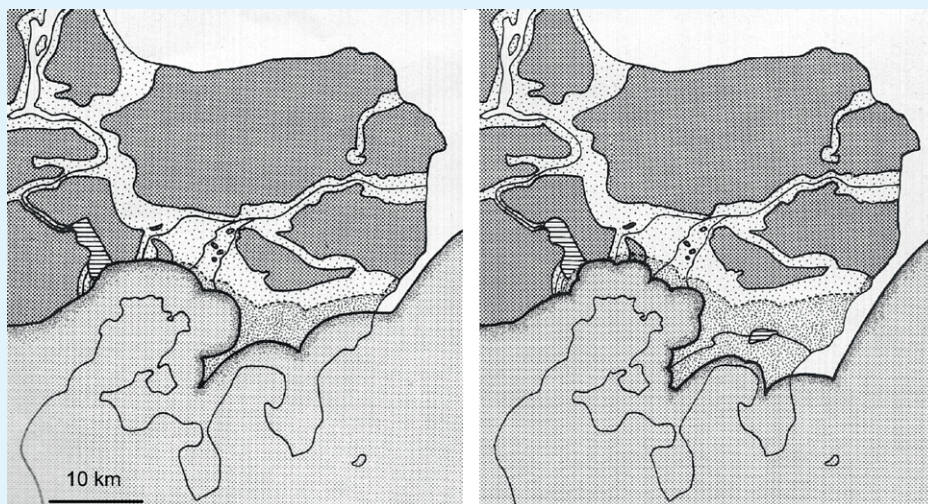
Gennem studier af flodterrasser langs de smeltevandssdale som udgår fra randmorænerne på det sydlige Djursland, kortlagde Harder flere stadier i den geologiske udvikling under det Østjyske Isfremstød (Fig. Boks 3.2 A). Omkring Mols flød gletsjere fra syd og sydøst sammen med en ismasse, der fra Kattegat havde nået det østlige Djursland. Afvanding skete fortrinsvis over Tirstrup Smeltevandsslette, der med et jævnt fald på knap 40 m førte smeltevand mod nord til en arktisk havbugt der bredte sig ned gennem Kattegat efter den tidligere is' borts melting (Fig. Boks 1. F). Under de senere stadier overtog Hoed Ådal den største afvanding, hvorefter smeltevandet strømmede til Gudenåens nedre løb ved Randers Fjord. Mens isen på det østlige Djursland smeltede bort afsnøredes et større

dødisområde nord for Ebeltoft Vig. Smeltevandssdale skar sig ned i de lidt ældre smeltevandssletter omkring Tirstrup og banede sig vej østover gennem Kolindsund dalen til Kattegat (Fig. Boks 3.2 B). Under hele dette forløb eksisterede en større sø i Rosenholmlavningen opdæmmet af israndsbakkerne vest for Rønde og med afløb til Gudenåen. Inden det østjyske fremstød havde lavningen afløb mod øst.

Molslandet - en syntese

Omtrent 70 år senere fremlagde H. Wienberg Rasmussen (1977) resultaterne af tyve års indsats i forbindelse med geologiske feltkurser på Mols i en samlet fremstilling af istidens aflejringer og landskabsformer på det sydlige Djursland. En væsentlig pointe i dette arbejde er, at de storbakkede landskaber nord og vest for den Harderske israndslinje, der dannedes under afsmeltning af isfremstødet fra nordøst, blev ikke udslettet på Mols, men blot modificeret af isfremstødet i Østjylland. Det blev herved godtgjort at istidslandskaber kan overleve efterfølgende glaciale begivenheder, og at de ofte blot gemmer sig under et slør af yngre sedimenter og landskabsformer.

Ved systematisk registrering af fænomener der knytter sig til isens flydemønster og som omkring Kalø Vig viser isbevægelse fra syd og sydøst uden at retninger fra vest kunne påvises, tilbageviste Rasmussen hypotesen om de to Miltherske isstrømmes udformning af de tungeformede bakke drag omkring Kalø Vig og Ebeltoft Vig (Boks 2). Rasmussen fandt at der bag den Østjyske Israndslinje ligger et sammensat landskab hvis nedre del består af bundmoræner med indlejrede flager af paleocæne og eocæne sedimenter dækket af till-aflejringer. Herpå hviler langstrakte sand og grus bakker uden prækvartære

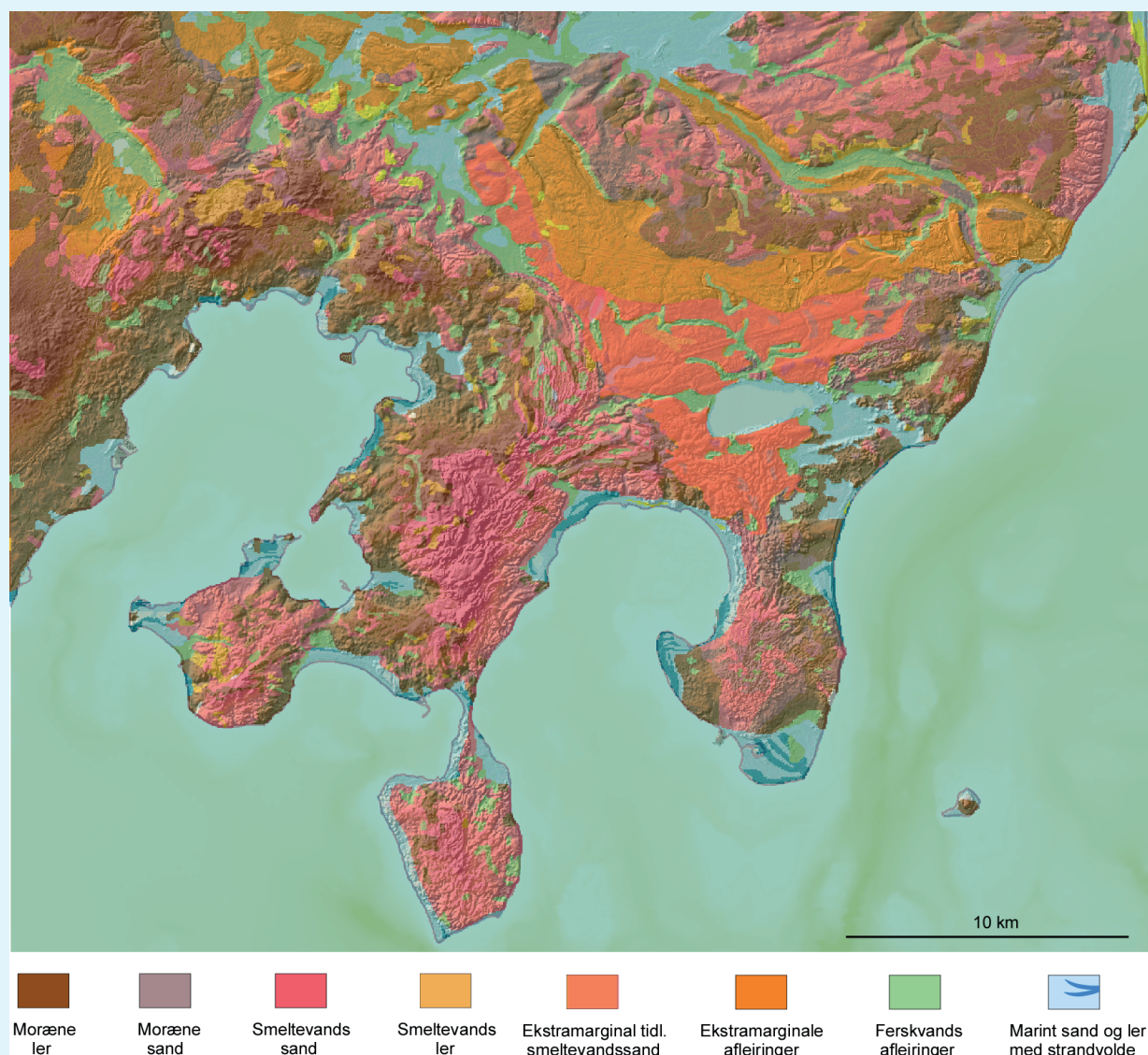


Figur Boks 3.3: Den sene udvikling i afsmeltningen omkring den Østjyske Israndslinje på Djursland. Af H.W. Rasmussen (1977) efter forlæg af P. Harder (1908). Den yngre smeltevandsslette mellem Stubbe Sø og Korup Sø afsattes på et større dødisdække foran den aktive isrand.

flager og med uforstyrret lagdeling eller med forstyrrelser, der skyldes passiv nedsmeltning. Disse udgør ofte de højeste partier i Molsbuerne og anses af Rasmussen for sø- og flodaflejringer dannet i isdæmmede søer på ungbaltisk dødis. I sprækker og lavninger i dødisen kunne smeltevand opstemmes og aflejre sin sedimentlast på vej mod isranden. I sene stadier af nedsmeltningen åbnedes dale og sletter mellem issøbakkerne, som fyldtes med sandede flod- og søaflejringer (Fig. 12, 13). Rasmussen havde hermed sandsynliggjort, at de markante og sine steder mere end 130 m høje bueformede bakkestrøg på det sydlige Djursland bestod af overprægede landskabsformer, der indgår i et kontinuert fremstøds-, oppresnings- og nedsmeltningforløb bag en

den østjyske gletsjerrand. Efterhånden som Molsbuerne dukke op af dødisen opstod en højere liggende smeltevandsslette end Tirstrupssletten nord for den aktive isrand, der nu tydeligt havde delt sig i to lobber (Fig. Boks 3.3). I denne fortsættelse af Harders kortfremstilling af forløbet omkring isens afsmeltning gives der imidlertid ikke noget bud på strømningsmønstret i gletsjerne i hhv. Kalø Vig og Ebeltoft Vig, selvom Rasmussen i sin tekst behandler dette emne. Derfor synes hans fremstilling ikke helt at have firgjort sig fra Harders og Milthers' model om to de to istunger.

Begravet under den ungbaltiske is landskabsformer findes endnu et sæt randmoræner, der kan knyttes til et afsmeltningstadiet af isfremstødet fra NØ i



Figur Boks 3.4: Geologiske jordartskort over det sydlige Djursland efter Pedersen (1989) og Pedersen & Petersen (1995) lagt på den digitale højdemodel.

Sen Weichsel, og hvis randdannelser er velbevarede mod nord og vest (Houmark-Nielsen 1983, 1987). Disse undersøgelser støtter ikke den antagelse, at det ældre israndslandskab er fra forrige istid, Saale, som fremført af Larsen & Kronborg (1994).

Rasmussen redegjorde også for omformning af det vegetationsfattige istidslandskab i senglacialtiden, der var udsat for udjævning af dalebunde, begyndende opfyldning af søbassiner og dannelse af erosionskløfter samt jordflydning og udskridning af ustabile skrænter. På Mols kortlagde Rasmussen udbredelsen af Litorinahavets aflejringer i beskyttede fjorde og vige og beskrev strandvoldssystemer og deres udbredelse langs de kyststrækninger, der i stigende grad blev eksponeret efterhånden som den postglaciale landhævning blev enerådende efter ophøret af den globale havspejlstigning. Landhævningen medførte afsnøring af de tidligere marine områder, aflejring af ferskvandsdannelser og til sidst tilgroning.

En ny stratigrafisk inddeling af istidslagene

Som opfølgning på Thamdrups arbejde på Mols Hoved fulgte studier af lagfølgerne i de øvrige klinger på Mols. Dette førte til opstilling af en formel litostratigrafi hvis bærende elementer er tre tillformationer mellemlagt af sø- og flodsedimenter afsat i forbindelse tre isfremstød i den sene del af Weichselistiden (Houmark-Nielsen 1987). Aflejringerne kan genfindes i store dele af det sydlige Kattegat og det nordlige Bælthav.

Med udgivelsen af "Geologisk kort over Djursland" (DGU 1995) fremlagdes en sammenstilling af den århundrede lange karteringsindsats. I den efterfølgende geologiske kortbladsbeskrivelse (Pedersen & Petersen 1997) blev arsenalet af stratigrafiske enheder udvidet til at spænde over hele det litostratigrafiske hierarki med indførelsen af en række over- og underenheder navngivet efter typelokaliteter fortrinsvis beliggende på det sydlige Djursland. Det er samme stratigrafiske terminologi, der med udgangspunkt i formelt opstillede formationer er anvendt i denne artikel.

Det geologiske jordartskort (Fig. Boks 3.4) viser udbredelsen af forskellige sedimenter - fortrinsvis glaciale - i jordoverfladen. Moræneaflejringerne består hyppigst af till smeltet direkte ud af en gletsjer, men i visse tilfælde kan omlejrede usorterede aflejringer ligne till uden at være det; f. eks. flydejord afsat ved udglidning, og hvis oprindelse kunne være bl.a. till. Smeltevandsaflejringer dækker et bredt spektrum af vandaflejrede, sorterede sedimenter, der kan være afsat i smeltevandets floder og -søer, men som lige så godt kunne være aflejret i miljøer langt fra nedisede områder, hvor israndsnært smeltevand ikke spiller nogen nævneværdig rolle. Ekstramarginale aflejringer er afsat af vand i søer eller floder og har ganske samme litologi som smeltevandsdannelserne, men aflejret udenfor rækkevidden af det yngste isdække i et område. Dette klassifikationssystem kan betyde at genetisk og tidsmæssigt samhørende sedimenter rubriceres i to forskellige kategorier, f. eks. smeltevandsdannelser og ekstramarginale aflejringer, hvilket har givet mulighed for fortolkning ved fremstilling af det geologiske kort. Således optræder de sandede aflejringer i overfladen i dødisområdet omkring Stubbe Sø mellem Tirstrup Smeltevandsslette og Ebeltoft Vig som smeltevandsaflejringer (Pedersen & Rasmussen 1987; Pedersen 1989), mens området i en nyere fremstilling af (DGU 1995, Pedersen & Petersen 1997) klassificeres som ekstramarginale dannelser. I denne nytolkning har forfatterne på afgørende vis, og uden nærmere forklaring, ændret forløbet af den Østjyske Israndslinie på en sådan måde, at den afviger radikalt fra tidligere fremstillinger.

Kortbladsbeskrivelsen omfatter også en grundig behandling af de holocæne aflejrings udvikling, deres flora og fauna og den indflydelse, som stenalderens markante havstigning havde for menneskelig bosætning. Den efterfølgende landhævning omkring det sydlige Djursland, har betydet at de tidligere havområder er omdannet til søer og udligning af kysterne, en udvikling der har ført til landdelens nuværende udseende.

nutidens havområder i det nordlige Danmark og det sydlige Djursland var gennemskåret af smalle fjorde og sunde (Fig.18).

Afsnøring af de indskårne farvande begyndte for ca. 5000 år siden på grund af den vedholdende landhævning. Ændring af de fremherskende vindretninger og havstrømme betød erosion og nedbrydning af ubeskyttede kyster. Materialevandring langs kysten medførte dannelse af grusede og sandede odder og

aflejring af finere partikler i laguner og beskyttede vige. Ofte blev den ene odde efter den anden svejset sammen til lange volde adskilt af lavninger eller dannede ligefrem brede strandvoldssletter. Opfyldning og senere tilgroning af søer og fugtige lavninger tog fart gennem den sene del af Holocæn, hvor den tætte tempererede løvskov blev udsat for hugst og hvor jordbruget i tiltagende grad bidrog til nedskylning af bakkernes sand og mudder, mens den omgivne vege-

tation medvirkede til tilgroning og tørvedannelse i søer og moser. Mindre moser og talrige lavninger der findes i dødislandskaberne, har været udsat for tørvegravning og dræning.

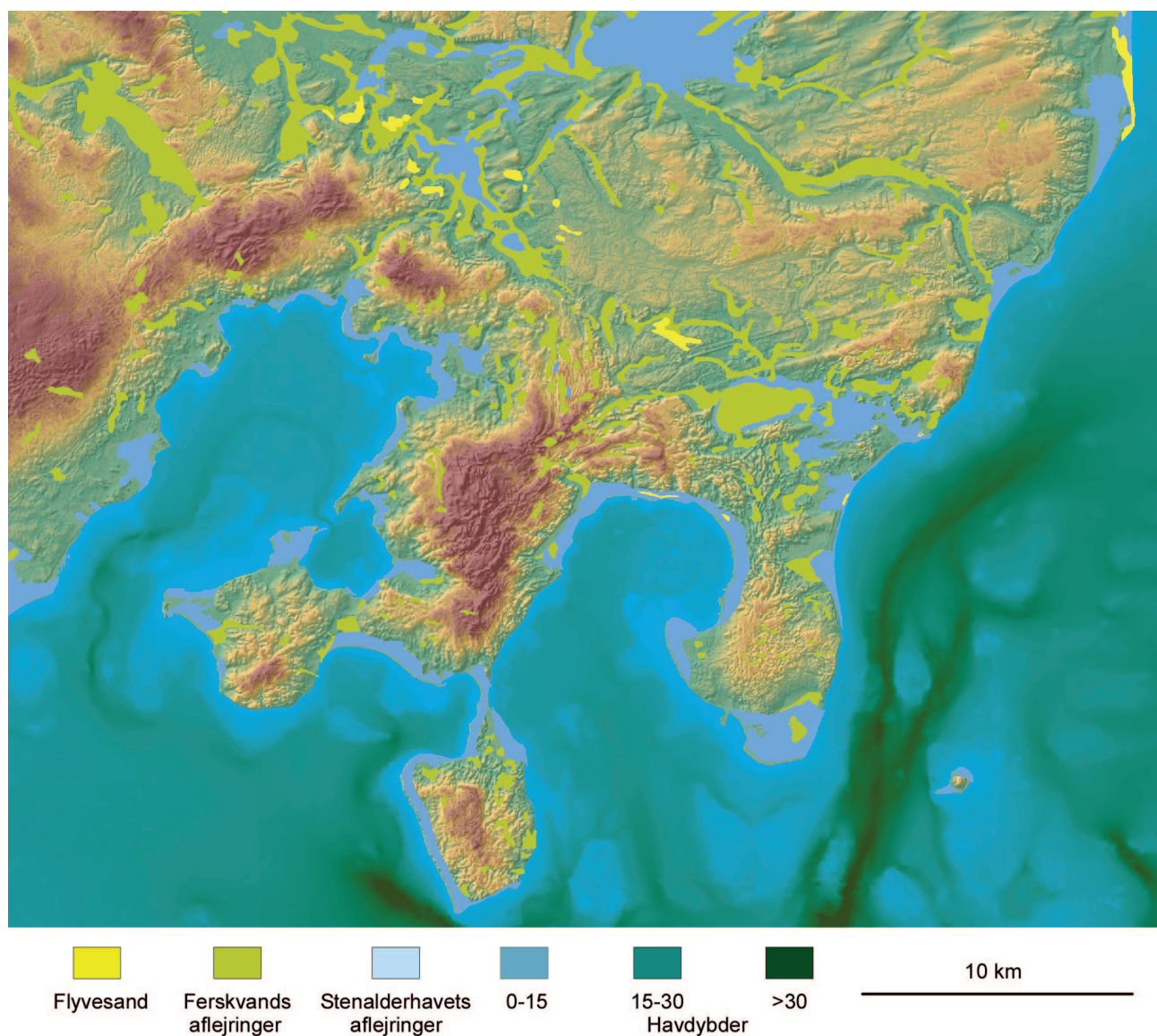
Den seneste væsentlige geologiske begivenhed, der er synlig i landskabet, er dannelsen af indlandsklitter. De er ikke særligt almindelige på det sydlige Djursland, men findes fortrinsvis i et bælte langs Tirstrup Smeltevandsslette og i mindre grad langs hævede strandaflejringer. Tørvemosernes indslag af flyvesand viser, at der under de seneste 3000 år er sket tiltagende sandflugt afløst af perioder med tilgroning. Sandflugten har især hærget i perioder med køligt, tørt og blæsende klima i kombination med overgræsning og rovdrift på skove og krat. De klitter, der er på jordartskortet (Fig. 18), hidrører fra sandflugt i forbin-

delse med den klimaforværring, der fandt sted fra 1400 tallet til slutningen af forrige århundrede.

De ældre kvartære lagfølger

Langs det mindre end 5 m høje profil ved Rugård Strand findes flager af opskudte og foldede lag fra Paleocæn overlejret af en serie af kvartære aflejringer (Fig. 4). Deformation af lagene er foregået i forbindelse med det yngste isfremstød fra sydøst under dannelsen af den østlige del af Molslandets randmorænelandskaber. Den nedre del af lagfølgen viser et klassisk forløb fra Elster Istid til ind i Holstein Mellemistiden (Fig. 4), som kan sammenlignes med udviklingen fra sidste istids afslutning til i dag (Kronborg & Knudsen 1984).

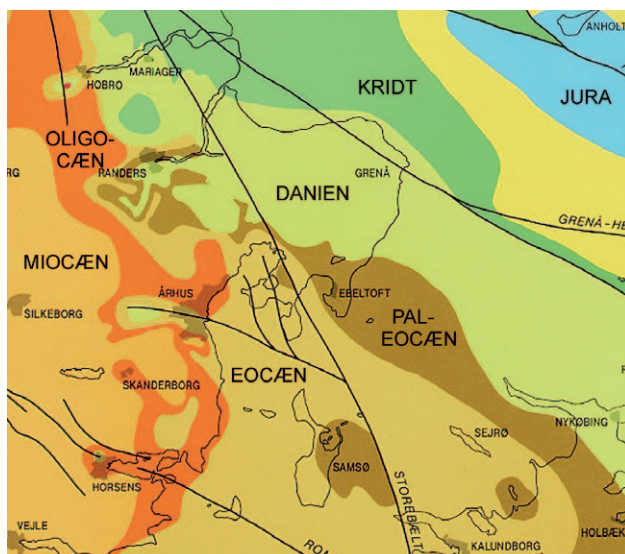
Den nedre lagserie omfatter en till rig på Danien



Figur 18: Udbredelsen af Litorinahavets aflejringer (lys blå), yngre ferskvandsdannelser (grøn) og klitter (gul) i det sydlige Djursland. Kortgrundlag DGU (1995).

kalk overlejret af issødannelser, der overgår til regulære søsedimenter med spor af planterødder og tørv. Over en erosiv grænse følger marint sand og ler med østersskaller og en varmekrævende fauna af kalkskallet plankton, der viser tiltagende havdybde under aflejningsforløbet og hvis specifikke artssammensætning svarer til andre kendte marine aflejringer fra Holstein mellemistiden. Den nedre serie vidner således om afsmeltning af en gletsjer, der havde passeret Djursland eller den højtliggende kalkundergrund i Kattegat og som aflejrede den nedre till-bænk. Under den efterfølgende nedsmeltning dannedes isdæmmede søer i et dødispræget landskab, som efterhånden blev opfyldt af stenet mudder og sand. Søerne omkring Rugård groede til, sandsynligvis som følge af hævnning af landområderne efter isens bortsmeltning. En global stigning af havspejlet, der skyldtes den endelige afsmeltning af store isskjolde, nåede området i begyndelsen af Holstein mellemistiden. Havet skyllede ind i lavninger omkring de tidligere søbassiner og nåede til sidst dybder på ca. 30 m. Et efterfølgende havspejlsfald har ikke efterladt sig andre spor i lagfølgen end en erosionsflade mod de overliggende glacial aflejringer.

Den øvre kvartære lagserie består af to till-bænke adskilt af smeltevandsdannelser. Den nedre till er særdeles rig på Palæozoiske kalksten fra Østersøens bund og er formodentlig afsat af den baltiske gletscher der dækkede størstedelen af Jylland under slutningen af den forrige istid (Saale) for omkring 150.000 til 140.000 år siden (Fig. 4). Den øvre till er sandsynligvis den samme, som findes dybest i de øvrige klintprofiler på Mols, nemlig Kattegat Till grundet dens karakteristiske indhold af opblandede arktiske foraminife-



Figur 19: Kort over den faststående undergrund omkring det sydlige Djursland. Forkastninger er markeret med sort streg (efter Varv 1992).

rer af samme sammensætning som Græstedleret fra Mellem Weichsel. De norske ledeblokke fra strandsten og en grusgrav nær Rugård optalt af K. Milthers (1942), har efter alt at dømme deres oprindelse i denne till.

Undergrunden

Der synes at være et mere end 40 millioner år stort gab i lagfølgen mellem de kvartære dannelser og undergrundens bjergarter (Fig. 4). På regional skala ligger undergrundens overflade stort set på samme dybde. Imidlertid bliver lagernes alder yngre i sydvestlig retning, hvilket er resultatet af en regional hævnning og vipning af jordskorpen. I det danske område fandt dette sted i den yngre del af Tertiærtiden (Neogen) og er fortsat ind i Pleistocæn. Den heraf følgende erosion bevirkede at Danienkalk på Djursland udgør undergrunden mod nordøst ligesom skrivekridt gør det i den midterste del af Kattegat (Fig. 19). Endnu ældre aflejringer fra f. eks. Jura findes syd for Anholt, mens tilsvarende aflejringer træffes i en dybde på omkring 2 km i en dyb boring ved Rønde. Bløde og ukonsoliderede sedimenter fra Paleocæn og Eocæn findes i dag i den sydvestlige del af Djursland, der mod vest i det jyske hovedland dækkes af oligocæne og miocæne aflejringer.

I nationalparkområdets nordlige del udgør kalken fundamentet for de kvartære aflejringer. Som et NV-SØ løbende bælte hen over Mols ligger det paleocæne mergel og ler over på kalken, mens det eocæne plastiske ler overlejrer Danien og Paleocæn i områdets sydlige del, hvor det danner den yngste undergrund (Fig. 19). Undersøgelser af boredata har sandsynliggjort, at der i dette område findes Paleocæn i en ned-sunket blok beliggende i et system af NV-SØ-gående forkastninger (Varv 1992). Foruden den faststående undergrund findes en lang række områder, hvor undergrundens bjergarter optræder som løsrevne flager mellem de kvartære aflejringer.

Undergrundens overfladeformer.

Rent lokalt er undergrundens overflade dog ikke en relieffattig grænse mellem aflejringer fra kvartærtiden og de foregående perioder. Grænseflade mellem Kvartæret og undergrunden er jævnt hældende mod sydvest og synes gennemskåret af adskillige flere km brede og omkring 25-50 m dybe dale, hvoraf de fleste løber i nordvest-sydøstlig retning, mens få i den sydøstlige del af området er orienteret sydvest-nordøst. Dalene i prækvartæroverfladen er i nogle tilfælde uddybet af gletsjere sent i sidste istid, i andre tilfælde er de helt eller delvist udfyldt og undergrundens overfladeformer afspejles derfor kun i nogen grad i den nuværende topografi.

Boks 4: Undergrunden: et tilbageblik

Undergrundens sedimenter, som f.eks. større partier af plastisk ler, molerlignende ler og mørkt glimmerler der findes i klinerne fra klinerne på Helgenæs, tiltrak sig tidligt opmærksomhed i forbindelse med den geologiske kortlægning (Madsen 1897). Sedimenterne, hvoraf mindre dele var stærkt foldede og hvis lagstilling generelt hælder mod sydøstlige retninger, blev anset for afsat i en ikke nærmere defineret del af Tertiærtiden. Også indlejret i de kvartære dannelser fandtes udtværede flager af det tertiære ler. Madsen erkendte at de tertiære aflejringer ikke lå på primært leje, dog uden at give nogen egentlig forklaring på hvorfor og hvilke processer, der kunne have medvirket til flagerne dannelses og rumlige orientering (Fig. Boks 4.1).

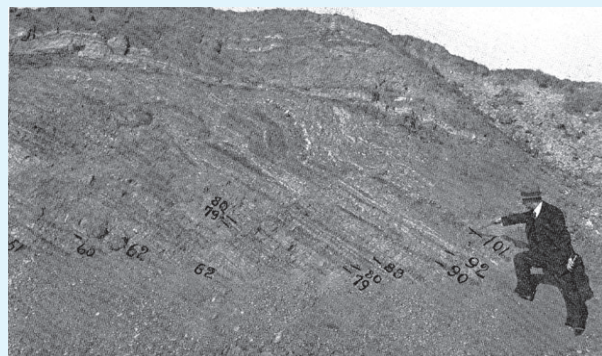
Ved Glatved og længere nordpå findes faststående bryozokalksten fra Danien og herpå hviler Paleocæn mergel (Milthers 1919), der ved Rugård har en rig moluskfauna beskrevet af Grönvall & Harder (1907). Gry (1935) erkendte at denne forekomst samt en hel række andre fra kystkliner og råstofgrave på Mols var løsrevne flager stablet sammen af tryk fra en fremrykkende gletsjer. Samme konklusion nåede Andersen (1937) til efter at have undersøgt det plastiske ler i klinerne på Helgenæs og fastslog at brudstykkerne af den eocæne lagfølge var løsrevne, istektonisk deformerede skiver, der var foldet og overskudt af gletsjere i forbindelse med dannelsen af israndsbakkerne på Helgenæs. Isbevægelsen på Mols kan udredes af Grys og Andersens målinger og viser oppresning fra sydøstlige og i sjældnere tilfælde sydlige retninger.

I det plastiske ler der er truffet i boringer og i kystklinerne i den sydlige del af området fandt Bøggild (1918) vulkanske askelag, der er identiske med dem især kendes fra Mors og Fur i den vestlige Limfjord og som tilhører den nedre del af Eocæn. Andersen (1937) opmålte det askeførende ler på Helgenæs og fandt at selvom lagserien på Helgenæs var tyndere end i Molerområdet, omfattede den de fleste kendte askelag fra dybt under +19 til højere end +130 (Fig. Boks 4.2).

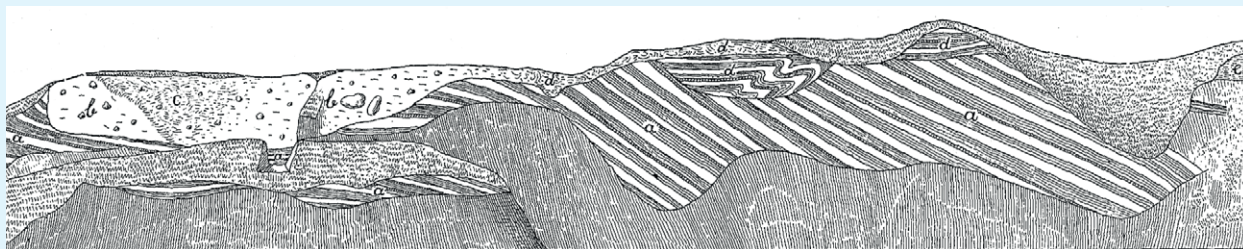
Med afsæt i tidligere arbejder gav H. Wienberg

Rasmussen (1977) en samlet fremstilling af undergrundens aflejringer og deres rumlige fordeling. Støttet af et efterhånden righoldigt arkiv af grundvandsboringer fandt Rasmussen at undergrundens overflade falder fra få meter under havniveau omkring Glatved i nordøst til mere end 80 meter under havet i sydvest. Den fremstilling, som Rasmussen (1977) står bag, giver indtryk at en relativt relieffattig undergrund, hvis former er skjult under dække af kvartære aflejringer.

En nyere tolkning af boredata viser en flade gennemskåret af dale (Binzer & Stockmarr 1994), hvilket synes at gælde områdets nordlige del hvor kalk fra Danien, og til dels også hvor Paleocæn mergel danner undergrunden. Men i det sydlige Djursland, hvor undergrunden består af lerede aflejringer fra Paleocæn og Eocæn, er grænsefladens former præget af markante lokale reliefforskelle domineret af opragende højdestrukturer (Binzer & Stockmarr 1994; Pedersen & Petersen 1997). Fra et niveau på +50 m rejser fladen sig således stejlt, op til mere end +125 m over en afstand på mindre end 1 km i området mellem Følle og Mørke. Fladen stiger og falder mere jævnt mellem dybder på +50 til omkring havniveau, hvor den tegnes som en række isolerede højdeområder jævnt fordelt over resten af det sydlige Djursland. Den geologiske kortlægning har endda godtgjort at undergrundens sedimenter især over disse opbulninger kan nå helt op i jord-



Figur 4.2: Flage af plastisk ler i kystklinten ved Ørby på Helgenæs med nummererede vulkanske askelag, hvis hældning viser et istryk fra sydøst. Fra S.A. Andersen (1937).



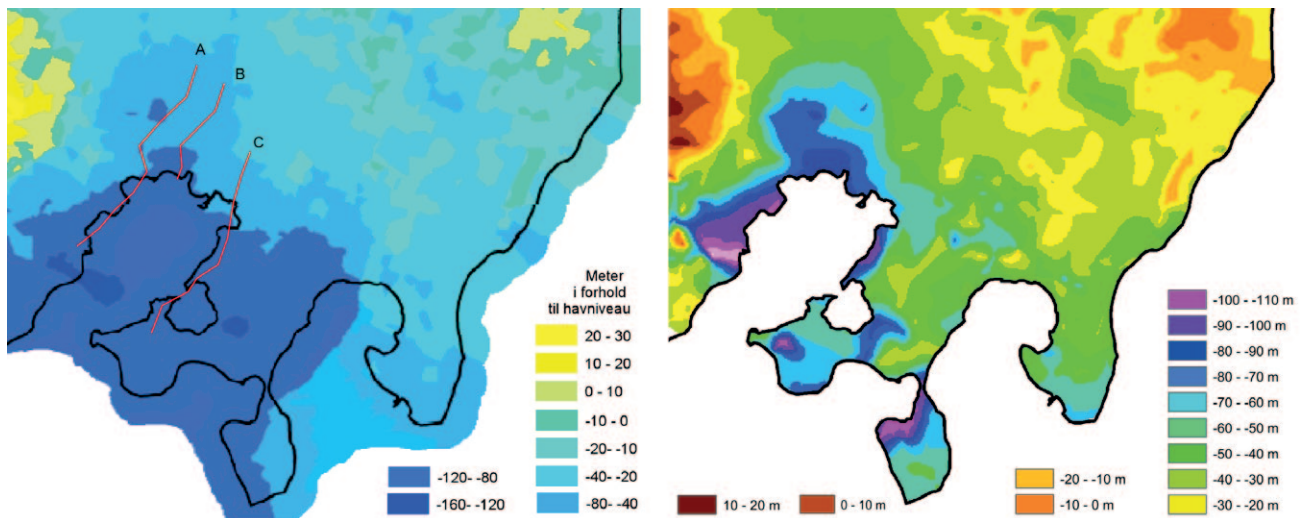
Figur Boks 4.1: Klintprofil vest for Ørby, Helgenæs. a: Tertiær ler, b: moræner, c: udtværet Tertiær ler, d: skred, e: smeltevandssand. Profilets længde ca. 50 m. Fra Madsen (1897).

overfladen (Fig. 21). Binzer & Stockmarr synes midlertid ikke at tillægge forekomsten af flager i deres beskrivelse af præ-kvartære overflades udformning nogen særlig betydning, hvilket kan have givet ophav til forveksling mellem den faststående og løsrevne undergrund. Et blik på kortet figur 20 og profilerne i

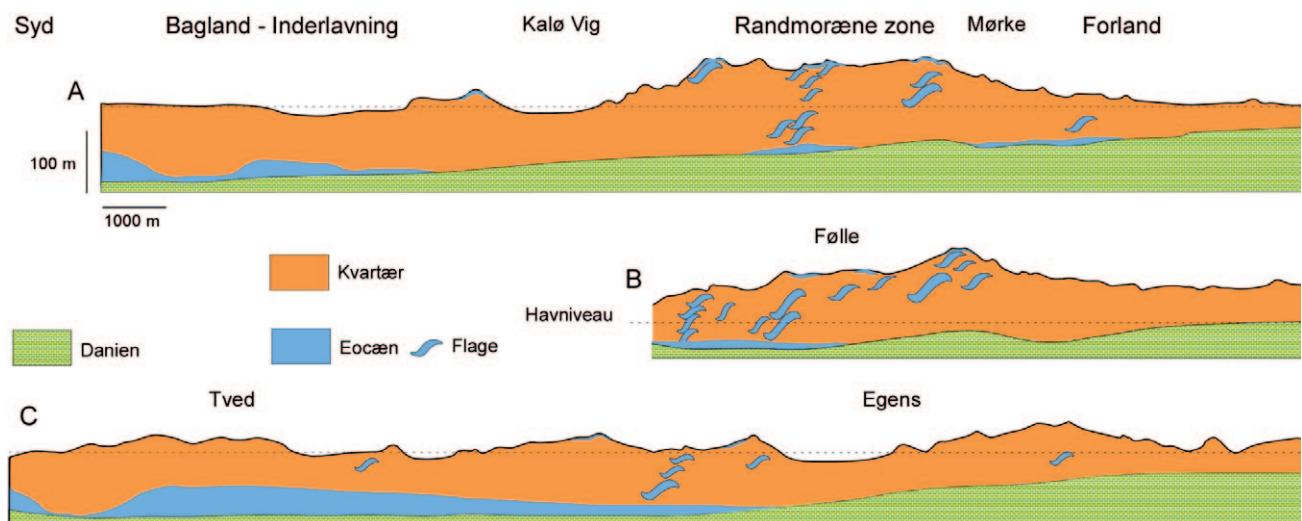
figur 21 viser at forekomsten af flager i randmorænerne i mange tilfælde let lader sig adskille fra formodede højdeområder i undergrundens relief og at depressioner bag randmorænerne må anses for uddybet af gletsjere i forbindelse med stabling af flager.

Den faste kalkundergrund danner en flade, der generelt falder mod sydvest fra omkring havniveau lidt nord for Glatved til mere end 120 m mod sydvest (Fig. 20). En undtagelse er området omkring Hornslet, hvor kalken lokalt findes over havniveau, hvilket skyldes, at en saltstruktur dybt i undergrunden har løftet kalken netop her. Mens prækvartæroverfladen er sammenfaldende med kalkoverfladen i nord, danner de

overlejrende paleocæne og eocæne sedimenter i den sydlige del af Molslandet en kile af lerede sedimenter over på kalken. Her ligger fladen i dybder på 50 til 75 m under havniveau, men især omkring lavningerne i Kalø Vig og Begtrup Vig, når dybden over 100 m (Fig. 20). Dette skyldes efter al sandsynlighed at gletsjere har afhøvet store dele af de lerede sedimenter, der lå oven på kalken, og skubbet dem op i israndsbakkerne.



Figur 20: Kort over Danienkalkens topografi (venstre) og den samlede undergrunds højdeforhold (højre). Efter J. Sørensen (upubl.).



Figur 21: Geologiske snit gennem Molslandet baseret på borer og geofysiske data. Lokalisering af profil A, B og C se Fig. 20. Datagrundlag J. Sørensen (upubl.)

Niveauet hvor løsrivning har fundet sted er sandsynligvis der, hvor det plastiske ler i vandmættet tilstand har kunnet glide på den hårde kalksten, måske hjulpet på vej af i forvejen eksisterende lavninger eller dale i prækvartæret hvor grundvandsstanden har været særligt høj.

Løsrevne flager

Især i israndsområdet på det sydlige Djursland findes talrige løsrevne flager af den paleocæne og eocæne undergrund i borer, langs kystkliner og i råstofgrave indlejret i kvartære lagfølger (Fig. 21). Ofte findes flagerne foldet og overskudt eller sammenstabet således, at deres orientering viser den fremadskridende gletsjers trykretning. For at afsløre flager af undergrunden gemt mellem i de kvartære lagfølger er boredata inddraget. Gentagelser af lagfølgen i en boring eller meget højt liggende undergrund i forhold til omgivelserne giver mistanke om, at undergrunden ikke er faststående. Desuden er der anvendt et tæt net af geofysiske data som supplement i områder, der er tyndt besat med borer. Det billede der hermed tegner sig afviger fra tidligere opfattelser. Mængden af flager er koncentreret til områder hvor undergrunden består af Paleocæn og Eocæn og særligt i israndsområdet er tætheden stor og her er flager med til at sætte deres præg på randmorænerne arkitektur. Det er sandsynligvis forekomsten af det vandmættede plastiske ler, der har medvirket til at Molsbuerne findes netop her i grænseområdet mellem Eocæn, Paleocæn og Danien. Derfor er undergrundens sedimenter en mindst lige så væsentlig byggesten i randmorænerne, som de istidsaflejringer, der trods alt udgør langt det største volumen af Molsbuerne.

Afslutning

Denne fremstilling af geologien på det sydlige Djursland vil nok ikke kunne sige sig fri for fejl og mangler. Læsere vil undres over hvorfor dette eller hint hjørne af emnet ikke har fået den betjening de selv føler er ønskværdigt, men sådan må det naturligvis være, når et så stort og mangefacetteret emne skal forelægges på begrænset plads. Jeg har bestræbt mig på at lade den konsensus træde i forgrunden, der kan uddrages af de meget tids forskellige men ofte forbløffende overensstemmende geologiske bidrag, når det gælder konklusioner omkring de store træk. Hvor uenighed er omfattende, er flere opfattelser diskuteret. Det er ikke målet at denne artikel skal lede til polemiske diskussioner, men snarere tjene til at vise geologiens mangfoldighed og understrege, at det sidste ord ikke er sagt endnu. Denne fremstilling af geologien på det sydlige Djursland er set gennem forfatterens linse og er således en spejling af min egen opfattelse af, hvordan dette emne har skullet behandles inden for de

givne rammer og hvor tyngden af enkelte aspekter skal lægges.

Tak

Forfatteren vil gerne takke Dansk Geologisk Forening for tilskyndelse til at skrive denne artikel. Jette Sørensen, Bo Skaarup og Mika Leth Pedersen fra bestyrelse og sekretariat i Nationalpark Mols Bjerger har været yderst behjælpelig med at stille boredata, kortmateriale og landskabsfotografier til min rådighed, ligesom Stig Schack Pedersen, GEUS, velvilligt har ladet mig bruge udvalgte figurer fra kortbladsbeskrivelsen "Djurslands Geologi". En tak skal også rettes til redaktionen for kritiske og konstruktive kommentarer til manuskriptet.

Litteratur

- Andersen S.A. 1933: Det danske Landskabs Historie. Danmarks Geologi i almenfatteligt omrids. Levin & Munksgaard: København, 124 pp.
- Andersen, S. A. 1937: De vulkanske Askeag i Vejgenemskæringen ved Ølst og deres Udbredelse i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 59, 52 pp.
- Andersen, S.A. 1927: Storebælt i fortid og nutid. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 49, 427-437.
- Andersen, S.A. 1945: Isstrømmenes retning over Danmark i den sidste Istid. Meddelelser fra dansk geologisk Forening 10, 594-615.
- Barthman, J.C. & Christensen, O.B. 1975: Contributions to the interpretation of the Fennoscandian Border Zone. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 102, 31pp.
- Bennike, O., Houmark-Nielsen, M. & Wiberg-Larsen, P. 2006: A Middle Weichselian interstadial lake deposit on Sejerø, Denmark: macrofossil studies and dating. *Journal of Quaternary Science* 22, 647-651.
- Berthelsen, A. 1973: Weichselian ice advances and drift successions in Denmark. *Bulletin of the Geological Institution, University of Uppsala* 5, 21-29.
- Berthelsen, A. 1978: The methodology of kineto-stratigraphy as applied to glacial geology. *Bulletin of the geological Society of Denmark* 27, special issue, 25-38.
- Berthelsen, A. 1979. Contrasting views on the Weichselian glaciation and deglaciation of Denmark. *Boreas* 8: 125-132.
- Binzer, K. & Stockmarr, J. 1994: Prækvartæroverfladens højdeforhold. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Kortserie 44.
- Bøggild, O.B. 1918: Den vulkanske Aske i Moleret. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 33, 84 pp.
- DGU 1995: Geologisk kort over Djursland. Danmarks Geologiske Undersøgelse, kortserie 51.

- Ditlefsen C. 1991. Luminescence dating of Danish Quaternary sediments. Unpublished Ph.D. thesis, University of Aarhus, Denmark; 116 pp.
- Gry, H. 1935: Petrology of the Paleocene Sedimentary Rocks og Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk, 61, 171 pp.
- Grönvall, K.A. & Harder, P. 1907: Paleocæn ved Rugaard i Jydland og dets Fauna. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 18, 102 pp.
- Harder, P. 1908: En østjyds Israndslinie og dens indflydelse paa Valdløbene. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 19, 227 pp.
- Heilmann-Clausen, C. & Surlyk, F. 2006: Koralrev og lerhav. Kap. 10 i Naturen i Danmark, Geologien, Gyldendal, 181-226.
- Houmark-Nielsen, M. 1983: Glacial stratigraphy and morphology of the northern Bælthav region. In: J. Ehlers (edit): Glacial deposits in North-West Europe. AA Balkema, Rotterdam, 211-217.
- Houmark-Nielsen, M. 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central part of Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 36: 1-189.
- 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. 2008: When OSL ages fail to fit the pattern: testing a Weichselian glaciation chronology from south Scandinavia. Boreas 37, 660-677
- Houmark-Nielsen, M. & Kjær K.H. 2003: Southwest Scandinavia 40-15 ka BP: Plaeogeography and environmental change. Journal of Quaternary Science 18, 769-786.
- Iversen, J. 1937: Undersøgelser over Litorinatrangresioner i Danmark. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening 9, 223-232.
- Jacobsen, L. 1999: GI-1e-GI-1c afspejlet i Rosenholm lavningen, Østjylland. Upubl. Specialeafhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet. 76pp.
- 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: imprint after palaeo-ice streams Boreas 32, 130-148.
- Kort og Matrikelstyrelsen, Digital Højdemodel over Danmark 2009: Geocenter Danmark, GIS-database.
- Kronborg, C. & Knudsen, K.L. 1985: Om Kvartæret ved Rugård: En foreløbig undersøgelse. Dansk Geologisk Forening, Årsskrift for 1984, 37-48.
- Larsen, G. & Knudsen, B. 1983: geologiske forhold under havbunden ud for Glatved ved Djurslands østkyst. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1982, 27-33.
- Larsen, G. & Kronborg, C. 1994: Geologisk Set, Det mellemste Jylland. Skov- og Naturstyrelsen. Geografforlaget, Brenderup. 272 pp.
- Madsen, V. 1897: Beskrivelse til Geologisk Kort over Danmark, Kortbladet Samsø. Danmarks Geologiske Undersøgelse I Rk 5, 87 pp.
- Milthers, K. 1942: Ledeblokke og Landskabsformer i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 69, 137pp.
- Milthers, K. 1942: Ledeblokke og Landskabsformer i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 69, 137 pp.
- Milthers, K. 1952: Stenene og det danske landskab. J. Fr. Clausen, København (2den udgave) 46 pp.
- Milthers, V. 1919: Merglen på Djursland. Danmarks Geologiske Undersøgelse III Rk 18, 41 pp,
- Milthers, V. 1932: Israndens Tilbagerykning fra Østjylland til Sjælland-Fyn, belyst ved Ledeblokke. Danmarks Geologiske Undersøgelse IV Rk 9, 56 pp.
- Milthers, V. 1948: Det danske Istidslands kabs Terræformer og deres Opståen. Danmarks Geologiske Undersøgelse III Rk 28, 233pp.
- Pedersen, S.A.S. & Petersen, K.S. 1997: Djurslands Geologi. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Geografforlaget, Brenderup. 96pp.
- Pedersen, S.A.S. 1989: Jordbundskort over Danmark 1: 200.000, blad 2. Midtjylland. Danmarks Geologiske Undersøgelse.
- Petersen K.S. & Kronborg C. 1991: Late Pleistocene history of the inland glaciation in Denmark. In Klimagechichtliche Probleme der letzten 130.000 Jahre, Frenzel, B. (ed.). Paläoklimaforschung 1: 331-342.
- Petersen, K.S. & Rasmussen, L. Aa. 1987: A geological concept of the map sheet Rønde based on dynamic structures. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Serie C 8, 59 pp.
- Rasmussen, H. W. 1977: Geologi på Mols. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie A 4, 22pp.
- Rørdam, K. & Milthers, V. 1900: Kortbladene Sejerø, Nykjøbing, Kalundborg og Holbæk. Danmark Geologiske Undersøgelse I rk 8, 143 pp.
- Smed, P. 1981: Landskabskort over Danmark, blad 2 Midtjylland. Geografforlaget, Brenderup.
- 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, 1437-145.
- Thamdrup, K. 1970: Klinterne ved Mols Hoved, en kvartærgeologisk undersøgelse. Meddelelser fra dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1969, 2-8.
- VARV 1992: Kort over den Danske undergrund.
- Villumsen, A. 1973: Geochemical and sedimentological investigations of the Rosenholm depression. Danmarks Geologiske Undersøgelse II Rk 100, 1-54.

Indhold:

Michael Houmark-Nielsen: Istidslandskabet omkring Nationalpark Mols Bjerge.....	1
Mindeord: Knud Ellitsgaard-Rasmussen, 23. juni 1923 – 1. december 2009	26
Bestyrelsens beretning 2010	45

