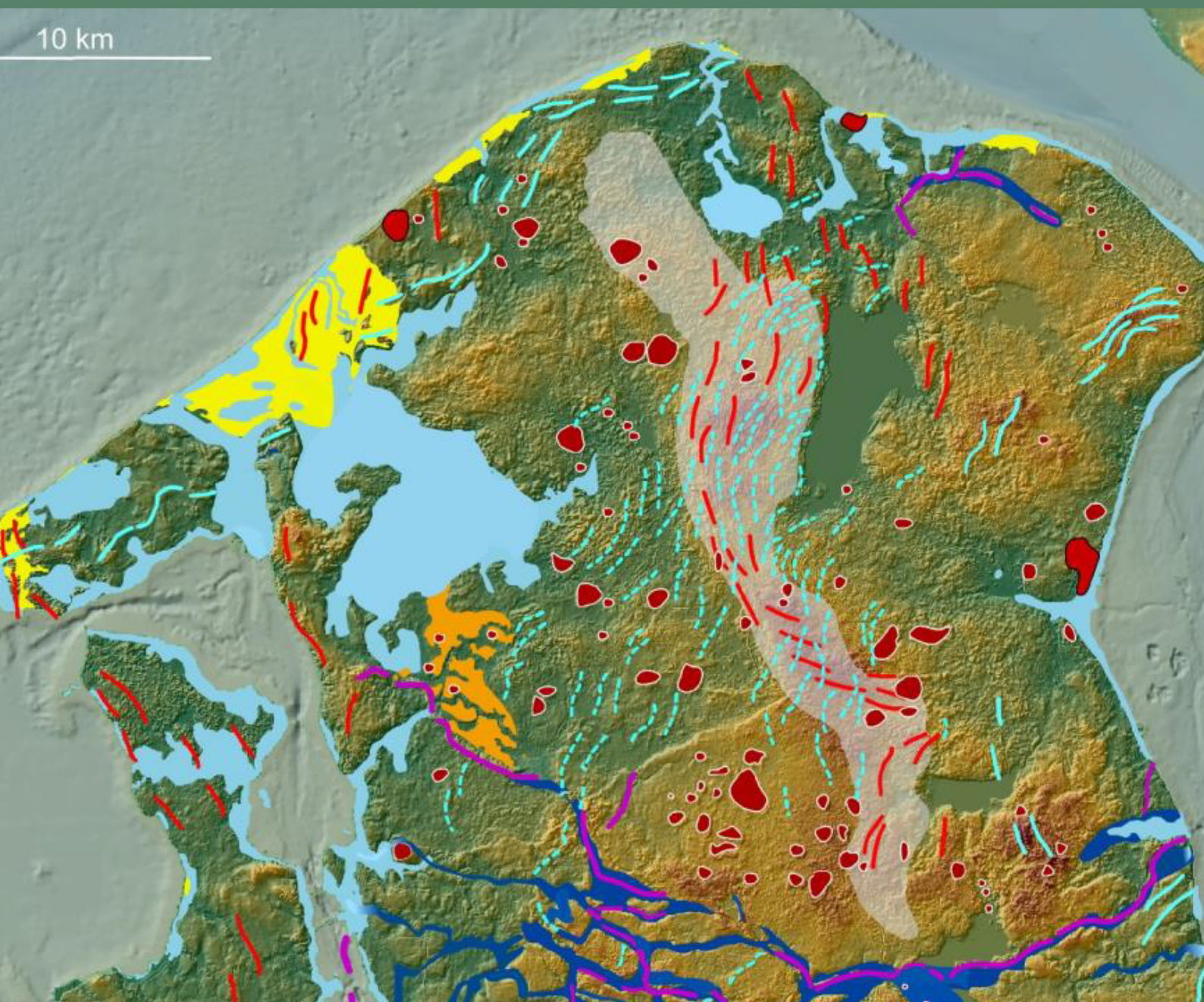


Geologi og landskaber i Nationalpark Kongernes Nordsjælland



Forfatter: Michael Houmark-Nielsen

Titel: Geologiske landskaber i Nationalpark Kongernes Nordsjælland

Forfatter: Michael Houmark-Nielsen

Udgivelsesår: 2019

Forsidefoto: Kort over landskabsformerne i NØ-Sjælland.

Rapporten er publiceret på www.nationalparkkongernesnordsjaelland.dk
Udarbejdet for Nationalpark Kongernes Nordsjælland. Gengivelse er tilladt
med tydelig kildeangivelse.

Bedes citeret: Houmark-Nielsen, M. 2019. Geologiske landskaber i
Nationalpark Kongernes Nordsjælland..

Notat udarbejdet for Nationalparksekretariatet til brug ved udarbejdelse af en
nationalparkplan.

Notat om geologi og landskabets udvikling i Nationalpark Kongernes Nordsjælland

Notatet har til hensigt at give en oversigt over geologi og landskaber i Nationalpark Kongernes Nordsjælland, og dermed give inspiration og understøtte inddragelsen af de geologiske og landskabelige værdier i en kommende nationalparkplan. Selve nationalparken er temmelig fragmenteret og arealmæssigt lille i forhold til hele NØ-Sjælland, og samtidig er omkring en fjerdedel af parken optaget af to store søer. Derfor må en geologisk-landskabsmæssig beskrivelse række ud over nationalparken og omfatte ikke blot hele NØ-Sjælland og i nogle tilfælde dele af det omgivne søterritorium, men også berøre andre dele af landet og for oversigtlighedens skyld også nå ud over landets grænser.

I notatet gives først en oversigt over den geologiske udvikling i det sydlige Skandinavien gennem de seneste 35.000 år set i lyset af de begivenheder, der har haft særlig betydning for NØ-Sjælland. Som eksempel på landskabets indre opbygning skitseres geologien i kystklinten ved Nakkehoved og nærliggende borer. Her følger lag, der beretter om den geologiske udvikling, og det vises, hvordan data fra netop dette område giver stof til den store fortælling om udviklingen i sidste istid og vores moderne varmetid. Området omkring Nakkehoved og Esrum Ådal er ét blandt flere særlige interesseområder – ”hot spots”, der findes i nationalparken eller i dens umiddelbare nærhed. En gennemgang af terrænformerne i dette interesseområde står som fællesnævner for i landskaberne i det meste af nationalparken. Herefter gennemgås hovedtrækkene i istidslandskabet i NØ-Sjælland fulgt af en beskrivelse af de ændringer og omdannelser, der er sket siden afslutningen af sidste istid og indtil i dag og hvilke nye landskaber, der er lagt til siden istiden.

I andet afsnit af notatet bliver der givet to eksempler på mere indgående beskrivelser af særlige interesseområder, der er udpeget, fordi de spiller naturligt sammen med nationalparkens øvrige temaer som f.eks. natur, kultur, fritid m.m. Det ene af disse ”hot spots” er området omkring Multebjerg centralt i Gribskov, der dækker udviklingen af istidslandskabet, det andet omfatter egnen mellem Liseleje, Tisvilde Hegn og Arresø, hvor omdannelsen fra stenalderens fjordlandskab til flyvesandsdækket hævede strandflader vil blive behandlet.

Notatet ledsages af to info-bokse, der indeholder faglig baggrundsinformation, som kan forekomme for tungt til at indføre i den løbende tekst. Boks 1 omhandler havspejlets stigninger og fald i NØ-Sjælland koblet til klimaets udvikling på vore breddegrader i de seneste 16.000 år. Boks 2 giver en oversigt over de processer og miljøer, der i forbindelse med gletsjernes fremrykning og afsmeltning, har ført til dannelsen af store dele af vores nuværende istidslandskab.

Til fremstilling af notatet er anvendt en del af den righoldige geologisk litteratur, der findes fra NØ-Sjælland. Artikler, bøger, kortmateriale, databaser m.m. er anført med henvisninger i teksten og listet i nummerrækkefølge bagest i notatet.

Hillerød d. 24 marts 2019

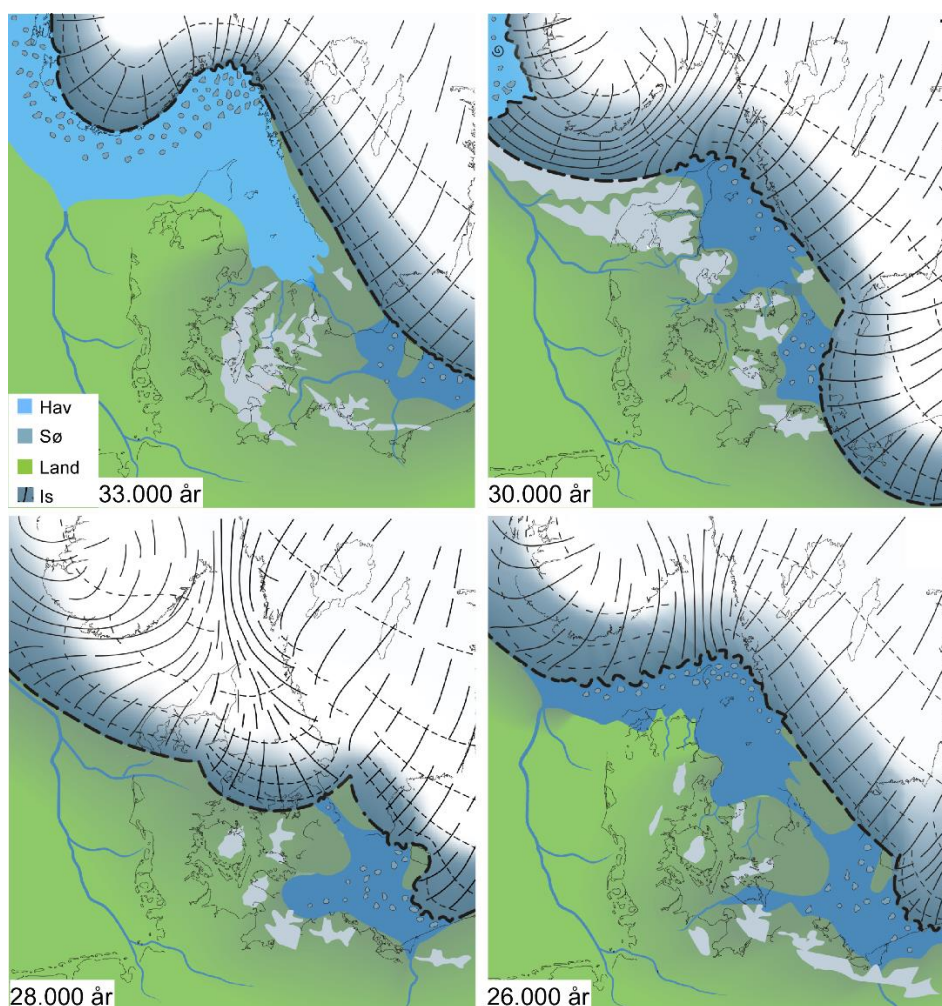
Michael Houmark-Nielsen
Lektor emeritus, dr.scient.
Center for Geo-Genetik
Biologisk Institut
Københavns Universitet

De seneste 35.000 år i Sydkandinavien – et regionalt overblik

I perioden fra godt 35.000 år til knap 12.000 år siden – altså den sene del af sidste istid – blev grundelementerne til istidslandskaberne i og omkring nationalparken lagt. I de efterfølgende år under vores nuværende varmetid har havets, vindens og det rindende vands kræfter nedbrudt og omformet dette landskab, hvorved NØ-Sjælland har fået sit nuværende udseende. I dag spiller de samme kræfter sammen med en ny partner – menneskets aktivitet - den samme afgørende rolle i landskabets stadige forandring.

En serie af geografiske rekonstruktioner (Fig. 1, 2, 3), der viser fordelingen af gletsjere, dødis, hav, land og større søer omkring Danmark, giver i glimt billeder af naturens historie igennem de seneste 35.000 år og hvilke begivenheder, der har ført til dannelse af de mest udbredte geologiske lag og til udformningen af landskaberne i og omkring nationalparken. Disse rekonstruktioner er baseret på sammenstilling af store datamængder fra Danmark og vore nærmeste nabolande ^{1,2}.

Perioden fra ca. 35.000 år til ca. 12.000 år siden er domineret af invasion og afsmeltning af istidens gletsjere adskilt af isfrie tidsafsnit, hvor arktiske fjorde, store is-dæmmede søer og landområder med permafrost var udbredt. Dødis efterladt af tidligere isstrømme fra midten af sidste istid overlevede længe under disse forhold samtidig med, at landskabet var dækket af den træløse polarvegetation, hvor de store pattedyr som mammut, moskusokse og rensdyr kunne trives.



Figur 1: En isstrøm fra Sydnorge – Kattegat Isstrømmen - invaderede det nordlige Danmark i perioden 33.000 – 26.000 år.

De første tegn på vækst af det skandinaviske isskjold kom ved indgangen til den strengeste kuldeperiode under sidste istid for omkring 30.000 år siden (Fig. 1). Den arktiske havbugt, der i lange perioder havde forbundet de indre dele af Kattegat med Atlanterhavet gennem Norske Rende, blev afsnøret af ismasser, der bredte sig fra de Skandinaviske fjelde ud i Skagerrak, hvorved fjorden i Kattegat blev omdannet til en stor indsø. Kattegat Issøen var i en periode på flere tusind år dæmmet op af gletsjerne i nord samtidig med, at den stod i forbindelse med en tilsvarende isdæmmet sø i den vestlige del af Østersøen gennem den udfyldte dal i kalkoverfladen, der strækker sig på tværs af Skåne og gennem Nordøstsjælland. En isstrøm, der flød ud gennem Olsofjorden, dækkede den nordlige del af Danmark i en kort periode for omkring 28.000 år siden. Da Kattegat Isstrømmen gik i stå over Nordsjælland og efterhånden smeltede bort indtog Kattegat Issøen atter sin plads i Kattegatområdet.

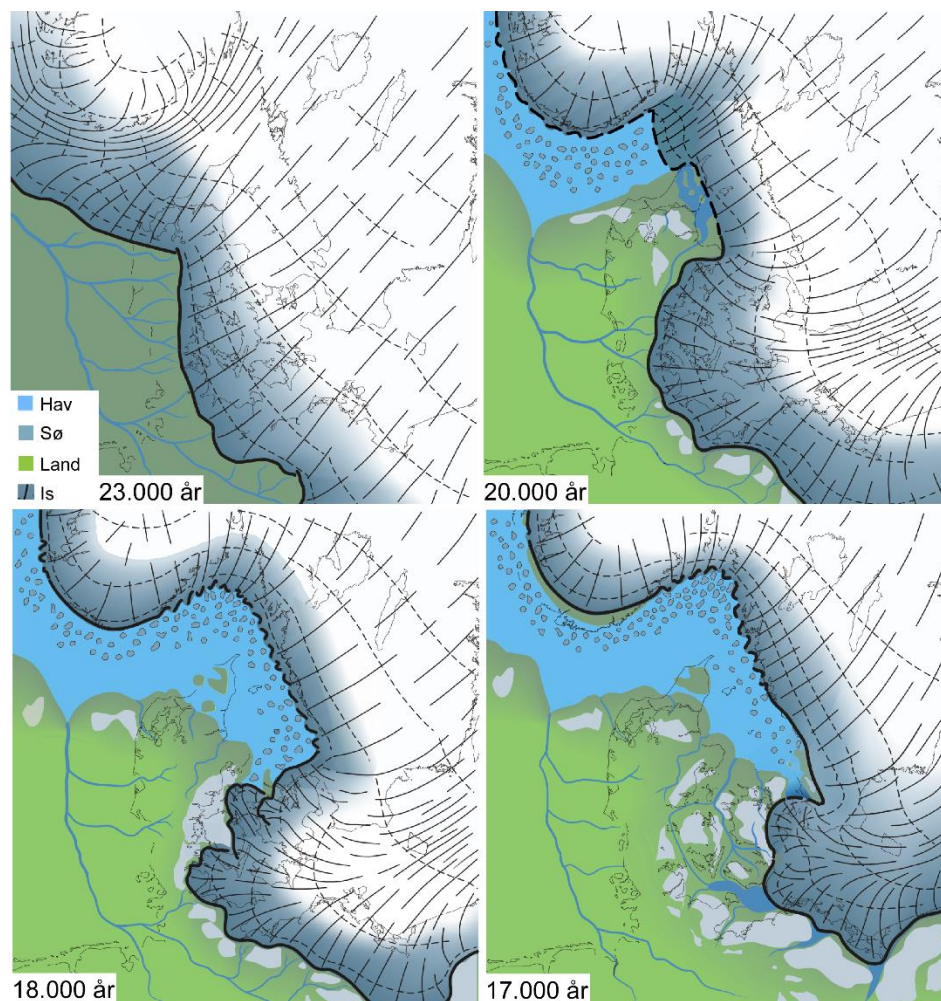
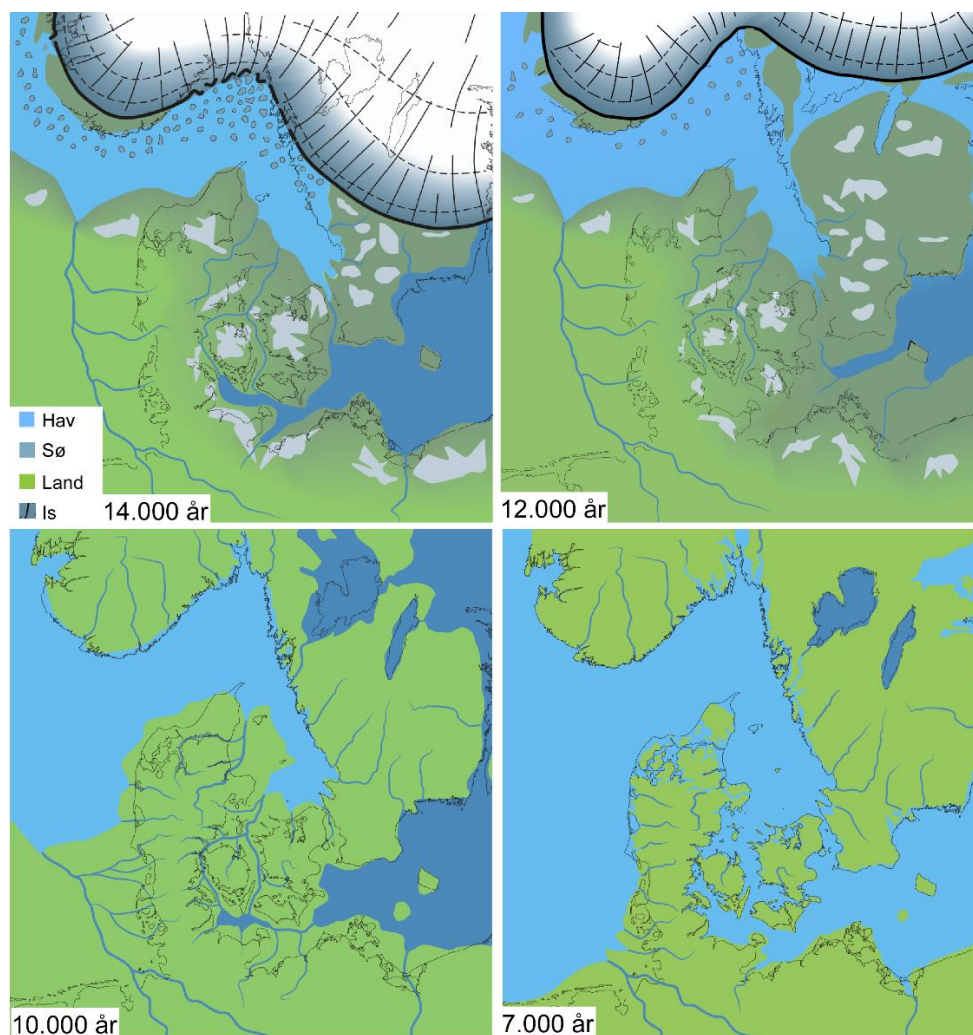


Fig. 2: Hovednedisningen (NØ-isen) og de efterfølgende isstrømme fra Østersøen (Østjyske-, Bælthav- og Øresunds fremstødene) fandt sted for mellem 23.000 og 17.000 år siden.

Fra for ca. 23.000 år siden bredte gletsjere – kaldet NØ-isen - sig atter ind over Danmark, denne gang fra det mellemste- og sydlige Sverige og isskjoldet nåede sin største udbredelse langs den midtjyske højderyg (Fig. 2). Under afsmeltningen blev store arealer med inaktiv is -dødis- efterladt foran den vigende isrand. Tilbagesmeltningen ophørte over NØ-Sjælland og afløstes for omkring

20.000 år siden af fremrykning af den Østjyske Isstrøm, der fra Østersøen via Skåne og Sjælland nåede Østjyllands kystegne. Afsmeltningen af denne isstrøm efterlod ligeledes dødis over Sjælland og Øerne, men afløstes af fornyet udstrømning af gletsjere– Bælthav Isstrømmen – denne gang gennem den centrale del af Østersøen. Isstrømmen dækkede de sydøstlige dele af landet for ca. 18.000 år siden og mens isen strømmede, delte den sig i flere hovedgrene, der stort set følger de lavninger i terrænet, der i dag udfyldes af Bælterne og Øresund. I Kattegat og det nordlige Øresundsområde mødtes gletsjerfronten med det senglaciale ishav - Yoldiahavet, der var trængt ind i det tidligere isdækkede og lavt liggende Kattegatområde foran den afsmeltende NØ-is.



Figur 3: Isens afsmeltning fra Sydsandinavien i Senglacial tid fra ca. 14.000 år til knap 12.000 år siden og fordeling af hav og land under Fastlandstiden for omtrent 10.000 år siden og under Stenalderhavets højeste vandstand for ca. 7.000 år siden.

Isskjoldets afsmeltning over det sydlige Skandinavien betød, at ishavet i Senglacial tid atter bredte sig ud over de nyligt isfrie landområder i Kattegat, Sydsverige og Sydnorge, områder der fortsat var presset ned som følge af vægten af det tidligere isdække (Fig. 3). Samtidig blev havet trængt bort i det nordlige Danmark og Skåne, der var blevet isfrit noget tidligere og som var udsat for hurtig opløft, nu da områderne havde været fri for isens vægt i adskillige tusinde år. (Boks 1).

Da isfronten stod tværs over Sydsverige var Danmark blevet helt fri for strømmende is, men landet var stadig overstrøet med store og delvist dækkede arealer med dødis, som først smeltede helt bort ved overgang til Postglacial tiden for omkring 11.700 år siden. Omkring dette tidspunkt løb isskjoldets rand i en bue fra Oslo gennem Mellem Sverige til Stockholm, og samtidig var ishavet kortvarigt trængt ind i den centrale del af den ellers ferske Østersø.

Selv om der havde været tilløb til en ændring mod varmere klima i de sidste 2-3 tusind år af sidste istid, ophørte den sidste ca. 1000 år lange kuldeperiode først for omkring 11.700 år siden i form af en hurtig verdensomspændende temperaturstigning (Boks 1). Skovvækst fortrængte tundra og en varmekrævende mellemistids-fauna indvandrede til Sydsandinavien og bredte sig hurtigt nordover. Kampen mellem landhævning, der var forårsaget af hævn i jordskorpen efter isens forsvinden og havets udbredelse i Sydsandinavien fortsatte ind i Postglacialtiden (Boks 1). Den verdensomspændende havstigning, der havde fundet sted lige siden de store isskjolde begyndte at smelte kunne indtil for ca. 8000 år siden ikke følge med landhævningen, hvorfor store dele af det danske område var landfast med Skåne og den sydlige del af Nordsøen (Fig. 3). Mod slutningen af denne "Fastlandstid" blev landområderne efterhånden overskyldet af havvand, stigningen fortsatte, og for mellem 7.000 og 5.000 år siden nåede verdenshavet sin største højde. Herefter gav den begyndende afkøling næring til den første gletsjervækst siden sidste istid. Denne tendens mod køligere klima fortsatte op mod vor tid, hvor der under den "Lille istid" herskede kulde, der var ledsaget af flere storme end normalt og sandflugt blev udbredt. I Norge og Alperne skød gletsjerne frem, i Grønland forsvandt nordboerne og herhjemme kunne svenskekongen føre sin hær over isen fra Fyn til Sjælland, mens landbruget oplevede misvækst med kummerlige livsvilkår til følge.

Fordelingen af land og hav nåede for 7000 år stort set det billede vi kender i dag, dog med væsentlige lokale forskelle. Da verdenshavene ikke steg mere og hævnningen samtidig fortsatte, dog med formindsket styrke, betød det tørlægning af tidligere lavvandede områder i den nordlige del af landet f.eks. Nørrejylland og Nordsjælland, mens indsykning i den sydlige del betød oversvømmelse f.eks. omkring det sydfynske øhav.

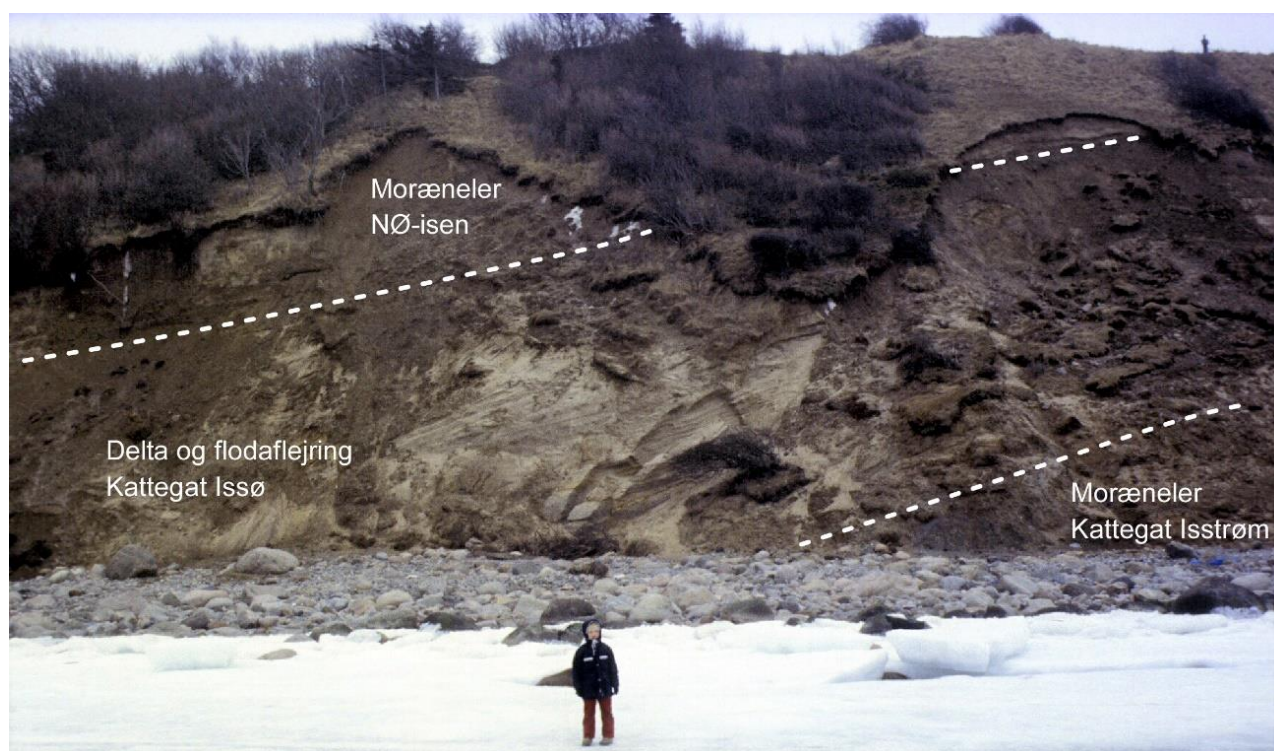
Åbne profiler, boringer og landskaber fortæller den geologiske historie

Indenfor nationalparkens område findes ingen eller meget få permanent åbne profiler, der kan give indblik i istidslandskabets opbygning. Åbne profiler omfatter grus - og lergrave, der har en begrænset "levetid" og som ofte er utilgængelige for naturinteresserede. Kystklinter er i nogle perioder velblottede med lag og strukturer synlige fra stranden, i andre perioder er klinterne skredet til og overgroet. Langs nordkysten findes adskillige klinter, der er let tilgængelige fra stranden og hvor landskabets indre arkitektur i lange perioder er tilgængelig. Selve landskabernes ydre form af kan imidlertid sløres af at yngre landskabsformer, lagt over på de ældre, det gælder f.eks. flyvesand afsat oven på istidslandskabet.

Det overordnede billede af landskabernes dannelse fås ved at stykke oplysninger fra et utal af lokaliteter sammen. Forholdene i NØ-Sjælland er velbeskrevet i den geologiske litteratur, både når det gælder data fra kystklinter og råstofgrave ^{3, 4, 5}, udgivne geologiske kortbade med jordartskort ⁶ og snit gennem landskabet ⁷ foruden oversigtsværker ^{8, 9} og landskabskort ¹⁰. Egnen omkring Gilleleje, Hornbæk og Esrum er et nøgleområde, der indenfor et begrænset areal kan fremvise interessante træk ved landskabet og dets indre opbygning.

Nakkehoved klintprofil: brudstykker af en lange historie.

Kystklinten ved Nakkehoved øst for Gilleleje er ofte velblottet og tilgængelig ad to trapper fra P-pladser ved de to fyr ovenfor klinten. På den stenede strand findes et rigt varieret selskab af bjergartsstumper fra store dele af Sydsandinavien, som med lidt træning og den rette vejledning ved hånden let lader sig identificere ¹¹. Foruden vores lokale kalksten og flint, gælder det særligt rhombeporfyre og larvikit fra Oslofjorden, Kinnediabas fra det mellemsvenske sø-lavland, granatamfibolit fra Hallands kystegne, Hardeberga sandsten og Höganäs sandsten og basalt fra Skåne, samt i mindre omfang porfyre fra Østersøen og Ålandsøerne. Denne brede vifte af sten fra vidt forskellige områder viser, at isstrømme fra både Sydnorge, Mellemsverige, Skåne og Østersøen har aflejret moræneler, der gemmer sig i eller ovenpå klinten uden at medregne de sten af mindre størrelse, der er transporteret andet steds fra langs stranden af bølger og strøm.



Figur 4: Kystklinten ved Nakkehoved Fyr en vinterdag i 1986. Foto M. Houmark-Nielsen.

Et første øjekast på klintens indre afslører tre overordnede lag (Fig. 4). Nederst moræneler fra Kattegat isstrømmen, øverst moræneler fra NØ-isen og her imellem lagdelt sand afsat i Kattegat Issøen. I det nederste moræneler ses små sandlag og spredte sten, der er sunket ned i den mudrede søbund under ”den norske is” afsmeltning. Søsedimenterne består af finkornede og lagdelte sedimenter i bunden, som opad bliver grovere og mere grusede, samtidig med at, strømstrukturerne tiltager i størrelse. Kattegat Issøens sedimenter viser, at tilstrømning af floder syd- og øst har ført sand og senere grus ud over søens mudrede bund. Søens aflejringer dækkes af sandet moræneler afsat af NØ-isen. Øverst har grovkortet smeltevands grus skåret sig ned i moræneleret. Denne lagpakke, der her hælder mod øst, er stablet sammen i flager, der kan findes et par gange gennem klintprofilen. Klintens indre opbygning er lig den, der kendetegner den type randmoræner, der dannes ved sammenpresning af en gletsjers umiddelbare forland (Boks 2). I klinten ved Nakkehoved er altså spor af tre isfremstød over NØ-Sjælland, nemlig først et

fra Sydnorge – Kattegat Isstrømmen – dernæst et fra Mellemssverige – NØ-isen – og til slut et fra Øst – den Østjyske Isstrøm, der stod for dannelsen af randmorænen.

Klintens aflejringer viser kun en del af en meget længere lagfølge, der kan spores i boringer i området ¹². Under det nuværende havniveau ses Kattegat Isstrømmens moræneler at ligge oven på sandede aflejringer fra den tidlige fase af Kattegat issøen, hvis aflejringer står på en formation af stenet ishavs ler og mudder kaldet Græsted Ler, og som tillige indeholder en sparsom fauna af arktiske muslinger og kalkskallet plankton. I grusgrave i bakkerne mellem Nakkehoved og Esrum findes ligeledes vidnesbyrd om oppresning, foldning og sammenstabling fra øst og nordøst, som har berørt Kattegat Issteømmens og NØ-isens aflejringer. De langstrakte bakker, der slynger sig i nord-sydlig retning, er randmoræner stablet sammen under den Østjyske is' fremrykning. (Fig 5). Som et tæppe over randmorænerne findes moræneler både fra den Østjyske Isstrøm og Bælthav Isstrømmen, den første aflejet af en is fra øst - den sidste af en is fra sydøst. Mellem de opskudte randmorænebakker er dalene udfyldt af grus og sand aflejet af smeltevandfloder, der løb mod nord mens de afvandede de store dødisområder omkring Esrum Sø.

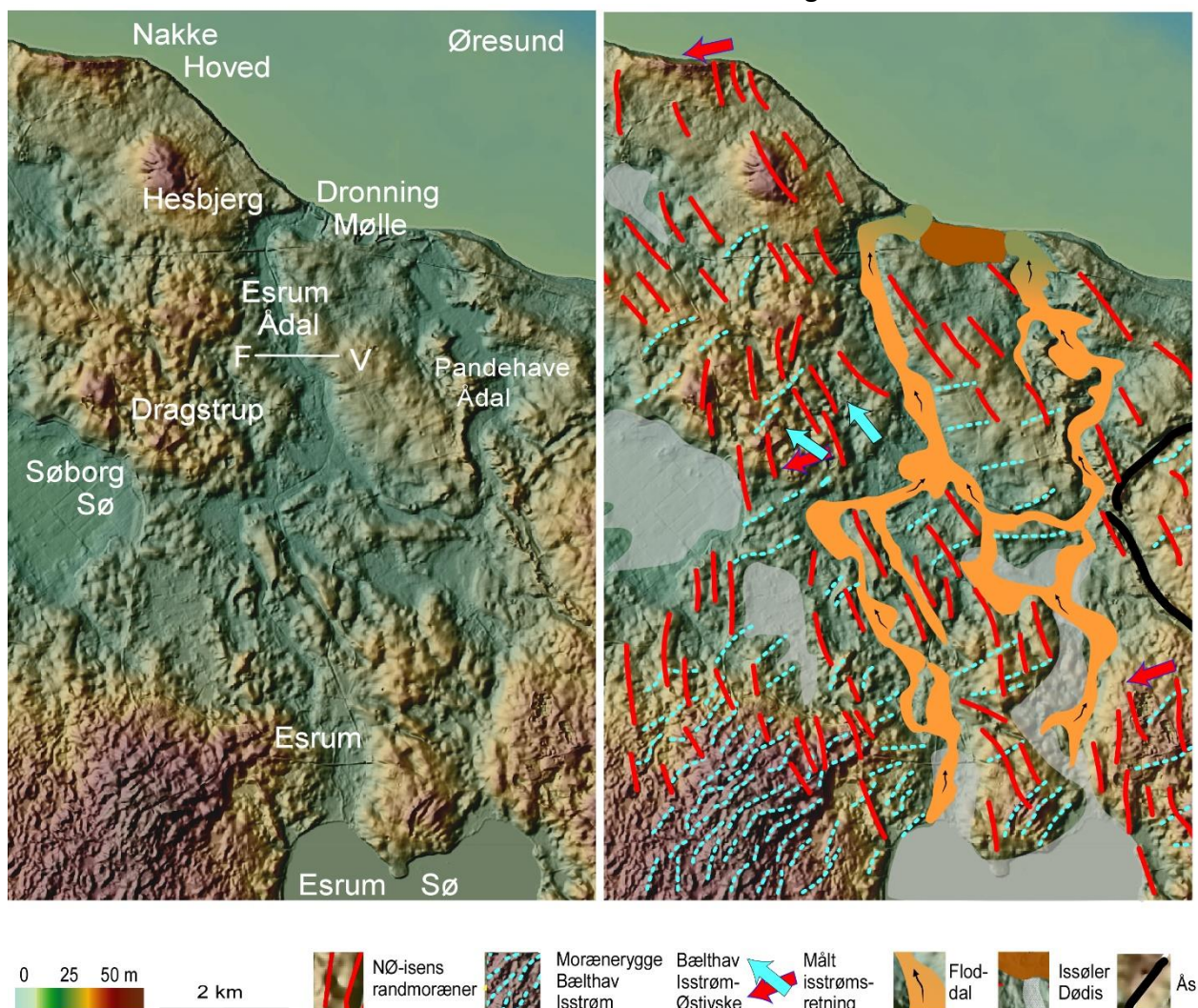


Fig. 5: Højdemodel og tolket landskabskort over området mellem Nakke Hoved og Esrum.

Et snit over Esrum Ådal viser forholdene på tværs af dalen (Fig. 6). Det indre af istidslandskabet består af en nedre og øvre moræneler, også kendt fra Nakkehoved ⁷. De to lag moræneler var afsat af en is fra Norge og en fra Mellemsverige, nemlig hvad der i dag betegnes Kattegat Isstrømmen og NØ-isen. De to lag moræneler er adskilt af sø- og flodaflejringer, som både indeholder skalfragmenter fra Græstedlerets muslingefauna og i sjældne tilfælde knoglestumper og dele af stødtænder fra moskusokse og mammut. Selv om disse fund er omlejret og transporteret i flere omgange, viser aldersbestemmelser af dem, at tundrasteppen også dækkede Nordøstsjælland for mellem 35.000 og 25.000 år siden ¹⁵. Ved sidste istids slutning gravede floder sig ned både i Esrum Ådal og Pannehave Ådal, hvor sten og "rullestensgrus" blev afsat af smeltevandets på vej ud mod Kattegat. Under den efterfølgende Fastlandstid sumpede dalene til, og der aflejredes tørv og andre ferskvandsdannelser. Siden trængte Stenalderhavet et stykke ind i dalene og aflejrede det skalførende saltvands sand og -dynd. Da havet trak sig bort, afsattes atter tørv og andre ferskvandsdannelser i dale og tidligere søer. Flere steder i området findes flydesandet, der dækker de øvrige aflejringer, som den yngste geologiske dannelse.

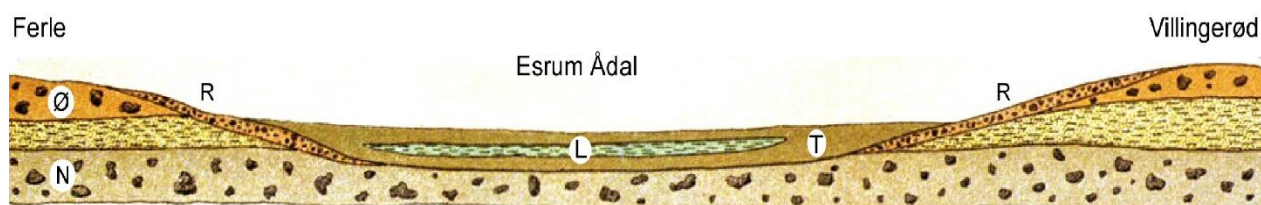


Fig. 6: Et geologisk snit gennem Esrum Ådal mellem Ferle og Villingørød Kirke (F – V, Fig. 5) konstrueret af K. Rørdam 1892 ⁷. N og Ø: Nedre- og øvre Moræneler, R: Smeltevandets flodens rullestensgrus. L: Littorinahavets skalførende sand og mudder. T: Fastlandstidens og den nuværende dalbunds tørvedannelser.

Det hører med til historien, at smeltevandets udløb i Kattegat skete omtrent samtidig med afsætning af ler og mudder i en stor isdæmet sø omkring Dronning Mølle. Leret findes flere steder ud for den nuværende kyst, og forekomsterne her er formodentlig samhörrende med tilsvarende stenet issøler fra Nivå.

Den geologiske lagfølge

Når lagene i klinten ved Nakke Hoved og andre åbne profiler i baglandet slås sammen med de gennemborede lag, der er registreret i talrige grundvandsboringer i området, kan der opstilles en samlet rækkefølge af lag fra ældst til yngst; lag som repræsenterer de geologiske miljøer, der gennem tid har hersket i dette område af NØ-Sjælland (Fig. 7). Det er denne type af geologiske data, der sammen med utallige andre ligger til grund for rekonstruktion af de geologiske forhold i Sydsandinavien vist i Figur 1, 2 og 3. Lagfølgen fra området mellem Gilleleje og Esrum kan suppleres med data fra hele kyststrækningen mellem Hundested og Helsingør og et stykke ind i Øresund til Nivå, og den dækker i store træk den samlede lagfølge for hele det nordlige Sjælland og det vestlige Skåne. Da der på Sjælland kun er yderst sparsomme oplysninger om aflejringer fra det ishav, der i Senglaciel tid var trængt ind i de sydlige dele af Kattegat, og som efter alt at dømme har stået i forbindelse med issøerne i Dronningmølle og Nivå, er ishavsleret ikke medtaget i lagfølgen.

Lagfølgen, der læses nedefra og opåder, begynder med Græstedler, som er en stenet mudret aflejring med en sparsom fauna af muslinger og kalkskallede mikroorganismer, der fortæller, at leret er afsat på bunden af et arktisk hav - Skærumhede-havet. Da havarmen blev afsnøret

omdannedes området til en ferskvandssø, hvor floder fra syd og øst afsatte sand og i sjældne tilfælde mudder blev aflejret. Datering af sandlag langs i klinger langs Kattegats kyst viser, at aflejring i Kattegat issøen fandt sted for mellem 44.000 og 32.000 år siden. Et isfremstød fra nord med oprindelse i Sydnorge (Rørdams nedre moræne) blev aflejret af Kattegat Isstrømmen, hvis moræneler karakteriseres af sten og blokke fra Osloområdet og knuste skaller fra Græstedlerets molluskfauna.

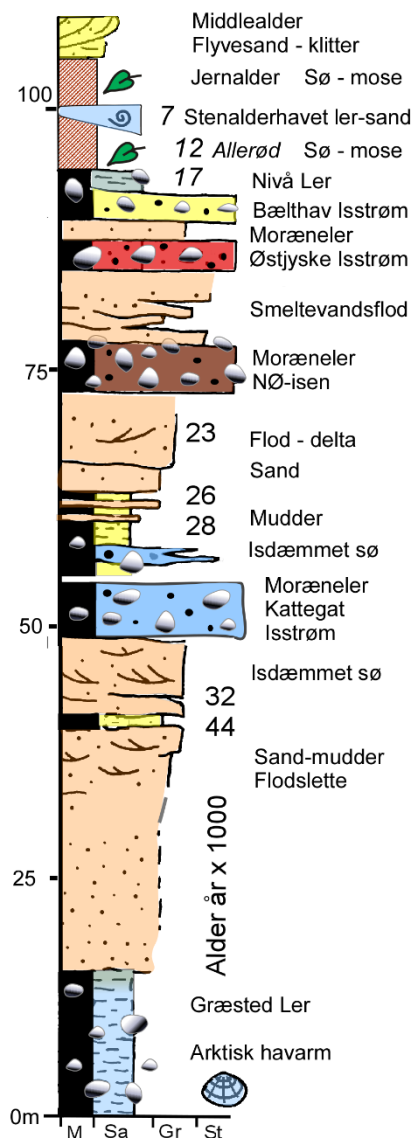


Fig. 7: Samlet lagfølge-profil for sidste istids aflejringer i området mellem Gilleleje og Esrum.

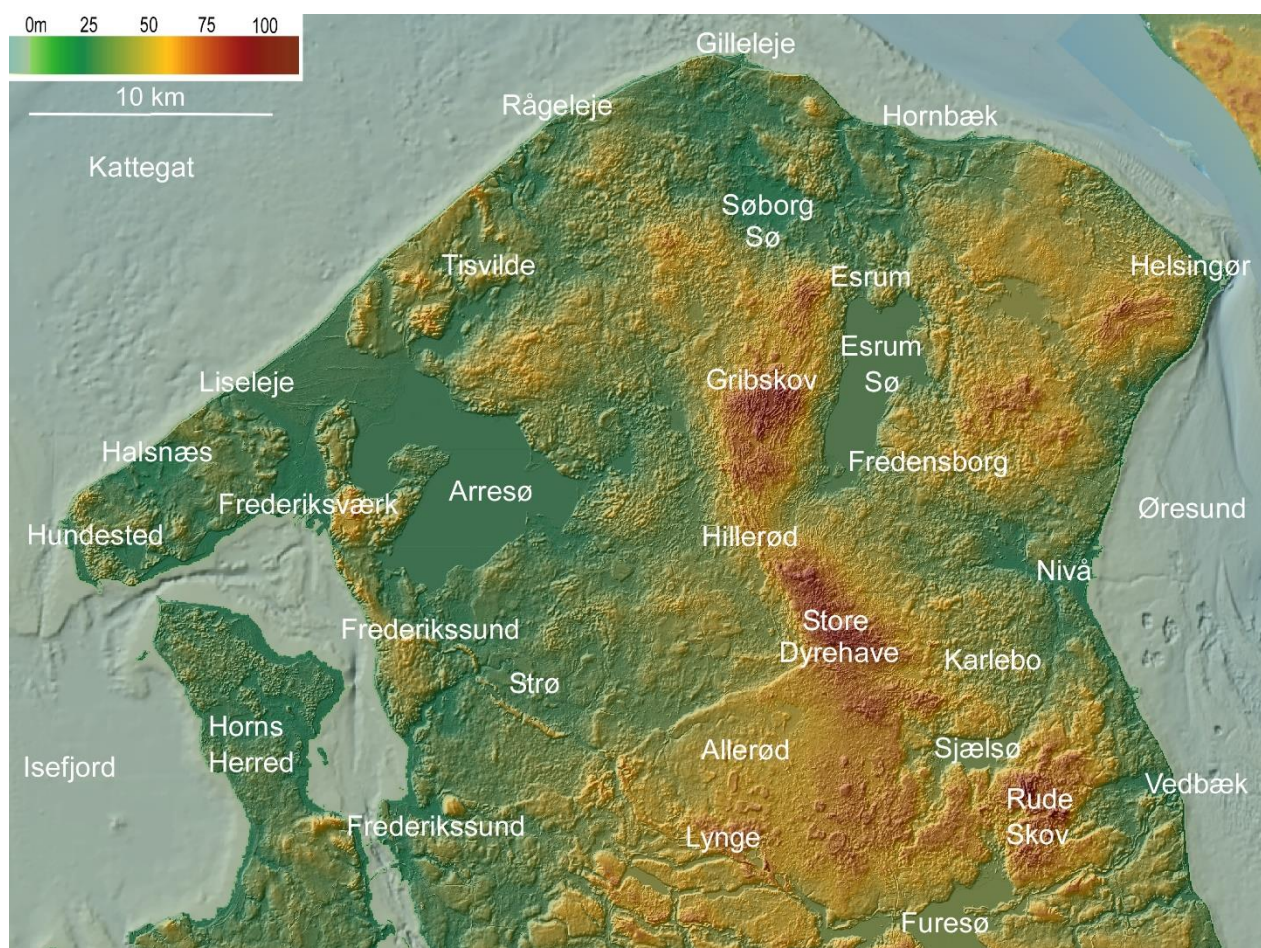
Afsmeltningen af Kattegat Isstrømmen foregik for ca. 28.000 – 26.000 år siden, hvor isen kælvede i Kattegat Issøen, der var blevet gendannet i lavlandet foran den vigende isrand. Flere steder i de kystnære områder løb floder ud i søen, hvilket medførte aflejring af sand og senere af grus. Aflejring fandt sted indtil for ca. 23.000 år siden, hvor NØ-isen overskred området og aflejrede et let genkendeligt lag af sandet og stenet moræneler. I klinten ved Nakke Hoved ses det, at moræneleret er leverandør af de talrige blokke af kinne-diabas og granat-amfibolit fra det sydvestlige Sverige og sandsten fra Skåne. Fulgt af NØ-isens afsmeltning invaderede først den Østjyske Isstrøm området fra østlige retninger og senere Bælthav Isstrømmen fra sydøst. I profiler

langs kysten og på tværs af ådale (Fig. 6) er der ikke skelnet mellem de tre yngre lag moræneler, men de er af Rørdam slået sammen til fællesbetegnelsen "Øvre Moræne".

I den samlede lagfølge findes issøler fra Dronning Mølle oven på isstrømmenes aflejringer, fordi de tidsmæssigt er yngre og selv om leret befinder sig på lavere niveau end de bakker, der omgiver issøleret. Hvis leret er samhörørende med det fra Nivå, må det være aflejret for ca. 16.000 år siden ², hvilket er alderen på den ryghvirvel fra ringsæl, som er fundet der. Ferskvandsaflejringerne dybt i dalene har vist sig at være afsat både i Senglacial tidens arktiske miljø under Allerød-varmetiden og den efterfølgende postglaciale varmetids tætte løvskov ⁸. Aflejringer fra Littorinahavet når højder 4-5 meter over nuværende havniveau. Den efterfølgende periodes ferskvandsaflejringer og det unge flyvesand er vist øverst i lagfølgen.

Landskaberne i NØ-Sjælland

Det er gletsjeres fremfærd og afsmeltning under den yngre del af sidste istid -Weichsel Istiden, der har formet hovedtrækkene i det østlige Danmarks istidslandskaber, og mange af disse landskabsformer findes i nationalparken og dens tilgrænsende områder (Fig. 8).



Figur 8: Højdemodel over NØ-Sjælland.

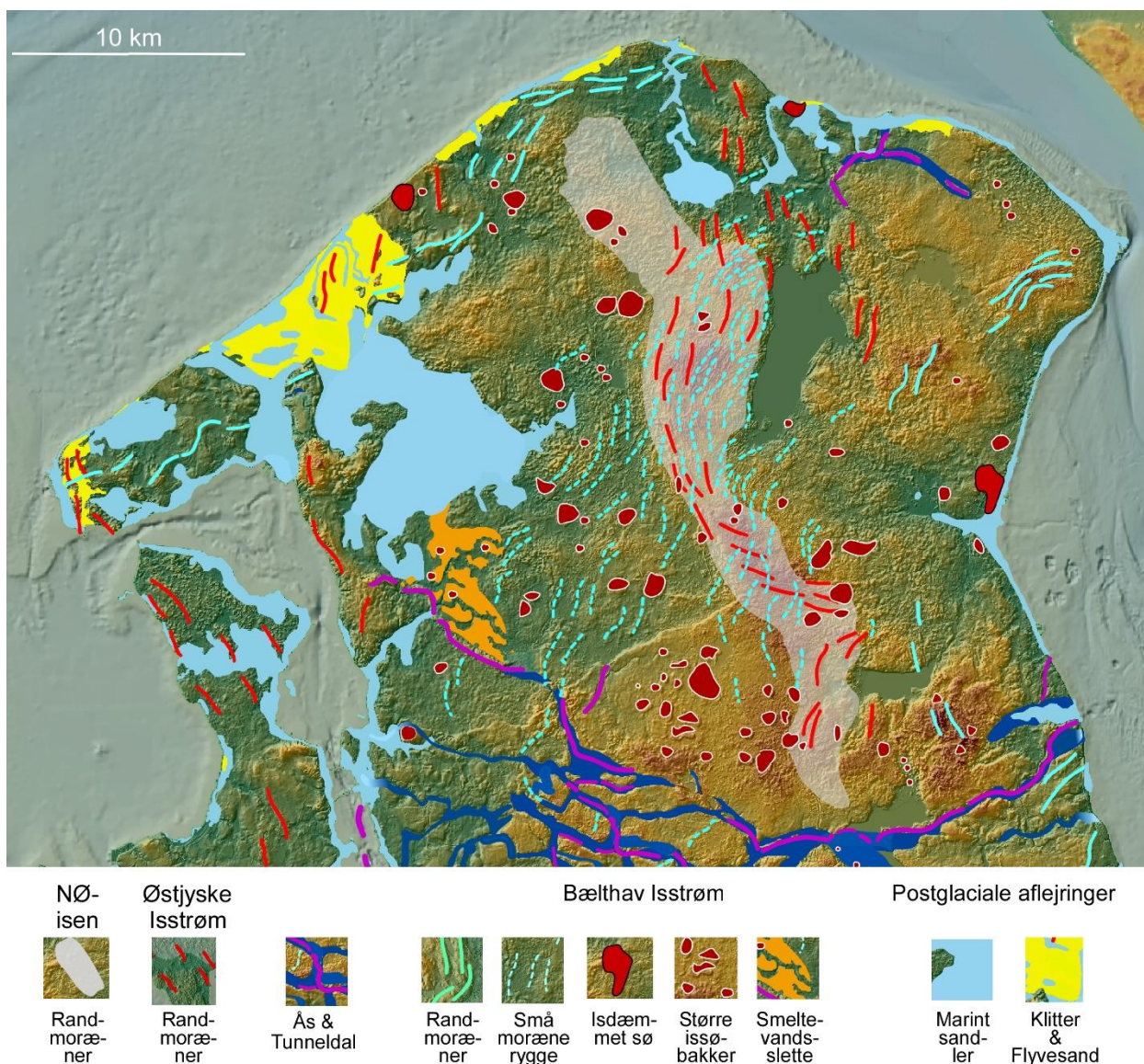
Grundstammen i NØ-Sjællands landskab er den højderyg, der løber fra Kattegatkysten omkring Rågeleje gennem Gribskov og Store Dyrehave og videre forbi Rude Skov mod Øresundskysten, som når højder på næsten 100 meter over havet. Lavninger bag ryggen ligger som en perlerække af større søer og mosedrag, der i dag huser Søborg Sø, Esrum Sø, Sjælsø og Furesøen, og som har

afløb mod havet gennem større nedskårne dale. Vest for "Gribskov-ryggen" ligger et reliefrigt landskab, hvor der findes endnu en bakkeryg med længderetning som den centrale bakkeryg. Her træffes også områdets største sø, den lavvandede Arresø. Omkring søen krydses bakker og lavninger, der er orienteret omtrent nord-syd, af mindre bakkestrøg, der ligger nærmest vinkelret herpå. Imellem disse bakkestrøg ligger talrige afrundede småbakker. Også de høje områder omkring Gribskov og Store Dyrehave er dækket af små bakkerygge, der fra Frederikssund og Lyngby slynger sig over bakkerne og videre ud mod det bulede og bølgede landskab mellem Fredensborg og Helsingør. Nationalparkens opland grænser mod syd op til rækker af fremtrædende dale – tunneldale, der løber fra Roskilde Fjord over Furesøen til Øresund.

Istidslandskabet

Den centrale ryg (Gribskovlinien) og mindre strøg af langstrakte bakker gennem nationalparken og dens omgivne terræn er dannet af den afsmeltende NØ-is. Under den generelle tilbagesmeltning forekom ophold og endda mindre fremstød, hvorved forlandets jordmasser blev skubbet sammen til randmoræner. Bagved disse bakkestrøg opstod dybe huller og lavninger, fordi det opstablede materiale manglede her (Fig. 9). Den Østjyske Isstrøm har under sin fremrykning fra Øresundsregionen gjort ophold langs Gribskovlinien, og under sin videre fremfærd har strømmen udglattet NØ-isens landskaber og aflejret et tæppe af moræneler over hele området. Da strømningen ophørte blev store arealer efterladt i et dække af dødis.

Bælthav Isstrømmen har, under sin afsmeltning og overgang til dødisstadiet, dannet et system af randmoræner først langs Kattegatkysten mellem Hundested og Gilleleje og senere et bælte af sammenskubbede bakker indenfor Øresundskysten mellem Helsingør, Fredensborg og Rude Skov. Under nedsmeltningsforløbet er der i dødisdækket opstået større huller og lavninger, hvor smeltevand har kunnet afsætte sin last af sand og mudder, og da dødisen, som tiden gik, smeltede længere ned, stod bunden af de tidligere isdækkede søer frem som afrundede og ofte fladtoppede bakker – issøbakker. Mellem Bælthavisens to israndsstadier findes især centralt i NØ-Sjælland lange rækker af blot få meter høje småbakker adskilt af lavninger. Småbakkerne består i Gribskov og Store Dyrehave af morænegrus og andre steder af moræneler. Bakkeryggene er sandsynligvis opstået i en stagnerende ismasse ved udfyldning af dybe spalter og lavninger med morænemateriale og, hvor det fremherskende system af sprækker afspejles af bakkernes let slyngede men temmelig konsistente retninger. Det formodes, at bakkerne ikke udelukkende er formet i is fra Bælthav Isstrømmen. Også dødis fra NØ-isen og den Østjyske Isstrøm har været leverandør til bakkernes indhold, idet morænematerialets sammensætning synes at stamme både fra Sydvestsverige, Skåne og Østersøen. Nedbrydning af landskabet fortsatte med udflydning af ustabile skrænter og nedskyl af ler og mudder, der blev lagt i lavninger i istidslandskabet. Samtidig bidrog den smeltende dødis til, at smeltevandsfloder kunne skære sig ned i landskabet, en proces der blev forstærket af den kraftige landhævning efter isens forsvinden.

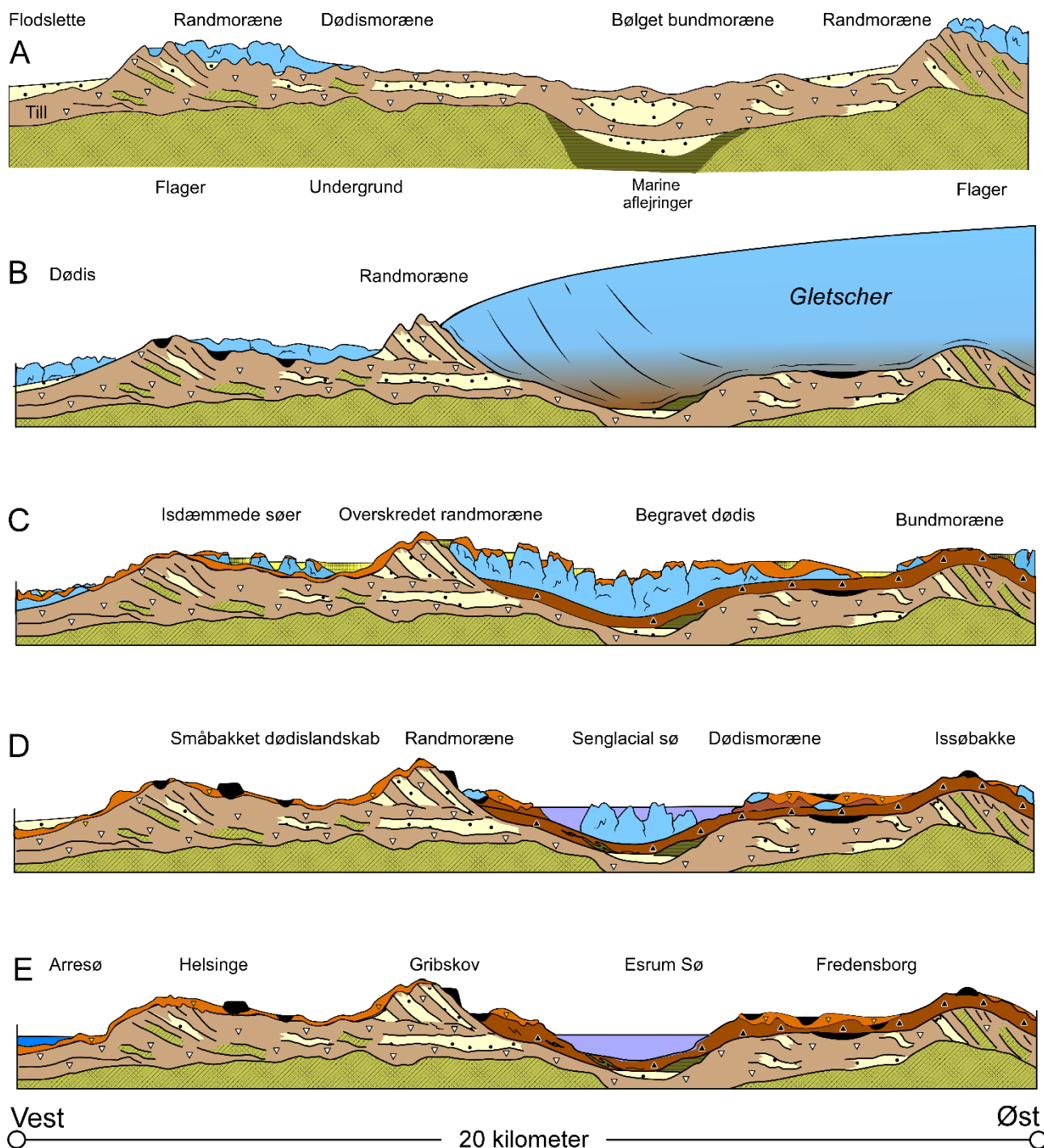


Figur 9: Kort over landskabsformerne i NØ-Sjælland.

Det er ikke helt klart, hvornår istidslandskabet, som vi kender det i dag, begyndte at dukke frem i NØ-Sjælland. Mens meget dødis var begravet under friske jordmasser indtil udgangen af sidste istid for knap 12.000 år siden, viser aldersbestemmelser fra issøaflejringer, at afsmeltningen var godt i gang for omkring 17.000 år siden, og noget tyder på, at de højeste steder i NØ-Sjælland smeltede fri først. Datering vha. radioaktive isotoper i overfladen af flere af vores store vandreblokke, der ligger på den centrale bakkeryg, antyder, at de store sten var smeltet fri af isen for omtrent 18.000 år siden; det drejer sig om "Pengestenen" i den nordlige del af Gribskov og Kastestenen ved Stenholt Mølle ved Egelund i sydenden af Esum sø ¹⁶. Indirekte aldersbestemmelser vha. studier af rester af den arktiske, senglaciale vegetation, som findes i bunden af større søer og moser, tyder på, at mange store dødisforekomster smeltede ned og blev omdannet til søer for omkring 13.000 år siden ⁸.

Istidens landskab i NØ-Sjælland er grundlæggende dannet i forbindelse med flere isdækkers fremrykning og afsmeltning og består således af flere generationer af landskaber lagt oven på hinanden i et miljø, hvor opbygning, omdannelse og nedbrydning af

terrænformer bestandigt gik for sig. De grundlæggende træk ved skabelsen af nationalparkens istidslandskab er vist i Fig. 10.



Figur 10: Det nordøstsjællandiske istidslandskab bliver til. Skematisk fremstilling af landskabernes udvikling i NØ-Sjælland. For hver episode med isdække er et nyt landskab lagt oven på det eksisterende, mens de isfrie perioder er præget af landskabernes omformning og nedbrydning.

Her ses øverst et tidligere nediset landskab med spredte forekomster af død is, som kunne være efterladt af Kattegat Isstrømmen (Fig. 10 A). Herunder ses situationen, hvor NØ-isen har dækket NØ-Sjælland og under sin afsmeltning har dannet randmorænerne i Gribskov og Store Dyrehave (Fig. 10 B). I midten ses NØ-isens moræner dækket af død is og herpå moræner fra de to yngste isstrømme, den Østjyske- og Bælthav Isen. Smeltevand har afsat finkortede sedimenter i søer på død isen foran og ovenpå Gribskov randmorænerne (Fig. 10 C). Under nedsmeltningen blev søerne tømt, og efterhånden som død isen smeltede, stod resterne frem som issøbakker i et småbakket død islandskab. I de dybeste dele af områdets største lavning, hvor Esrum sø senere opstod, overlevede død is langt op i Senglacial tid omgivet af smeltevand, der havde overløb gennem Esrum Ådal. Terrasser dannet langs søens bredder viser, at vandet i Esrum Sø dengang stod 4 – 5 meter højere end i dag. Da død isen endelig var smeltet bort faldt vandstanden i søen under Fastlandstiden nåede den sit laveste niveau nemlig omkring 12 meter under nuværende vandspejl, hvilket er markeret af den stejle undersøiske skrænt, der findes et stykke fra bredden hele vejen rundt om søen. Vandspejlet i Esrum Sø steg igen ifm. Stenalderhavets indtrængning for endelig at finde sit nuværende leje i Jernalderen (se Boks 1).

I slutningen af sidste istid – Senglacialtid – og i Postglacial tid - blev istidslandskabet gennemskåret af Fastlandstidens floder og åer, der i dag synes voldsomt brede i forhold til de små vandløb, der i nutiden løber gennem dalene. Der er meget få spor efter det ishav, der med Bælthav Isstrømmens bortsmeltning invaderede det sydlige Kattegat. Kystskrænter, der ligger 4 – 5 meter højere end Stenalderhavets, findes langs den nuværende kyst fra Hornbæk forbi Gilleleje til Rågeleje, ligesom der er beskrevet højtliggende terrasser nogle med strandsten langs hævdede kystskrænter i Tisvilde Hegn ⁷. Disse observationer er dog svære at henhøre til det senglaciale ishav. Imidlertid er der truffet aflejringer fra ishavet i borer på land og i et større område ud for kysten mellem Hundested og Gilleleje ¹⁴. Langs kysterne blev istidslandskabet nedbrudt af bølger og strøm først af det senglaciale ishav og efter Fastlandstiden af Stenalderhavet.

Nedbrydning af kysterne tog for alvor fat, efter at Stenalderhavet havde nået sit højeste niveau for omkring 7.000 år siden. Havet overskyllede dale og lavninger, der blev omdannet til fjorde og sunde. Stenalderhavets kystomrids var fliget og bugtet med talrige bugter og vige, og farvandene besad stor rigdom på føde til datidens kystfolk. Store områder i nationalparkens vestlige del omkring Arresø, Tisvilde Hegn og Halsnæs var dækket af Stenalderhavet, men også smeltevandsdalene langs nordkysten og de lavt liggende områder langs Øresundskysten blev overskyllt af havet (Fig. 9).

Da verdenshavet havde nået sit højeste niveau, og landhævningen i NØ-Sjælland stadig foregik, betød det, at Stenalderhavets lavvandede bund og kystklinter "rykkede ind i land", hvor vi i dag finder dem i op til 5 meter over den nuværende havoverflade. På grund af klimaforandringer begyndte nedbrydningen af kystområderne for alvor at tage fat i Jernalderen og ind i Historisk tid. Det blev mere fugtigt og køligt og samtidig tiltog vandringen af voldsomme stormlavtryk ind over landet, og vestenvinde blev fremherskende, hvilket betød styrkelse af de kræfter, der nedbrød og omformede kystområderne. Som følge af stærk erosion blev store landområder nærmest fortæret af havet samtidig med, at havstrømme langs kysten styrkede udbygning af store oddesystemer og dannelsen af lange systemer af strandvolde bestående af sand- og grus, der efterhånden kunne spærre bugter og vige af fra havet. Udviklingen i området omkring Arresø er et særligt godt eksempel herpå. Som tiden gik, fik kystlinjen sin nuværende næsten retlinede vinkelform med et knæk ved Gilleleje. Hævning og tørlægning af tidligere lavvandede havområder f.eks. i Nordsjælland gav sammen med sparsomt plantevækst ophav til, at store arealer efterhånden blev

udsat for sandflugt, hvorved større området med frugtbar landbrugsjord med tiden blev dækket af klitter og flyvesand. Vandringen af sand og klitter var særlig voldsom, hvor store områder med sandet overflade lå eksponeret for de fremherskende vestenvinde. Det gælder især området omkring Tisvilde Hegn, men hele kysten blev udsat for sandflugt (Fig. 9).

Hotspots – særlige områder der illustrerer landskabets udvikling

Ligesom området mellem Nakke Hoved og Esrum rummer særlige aspekter af landskabernes dannelse og deres indre opbygning, er der yderligere en række områder, der påkalder sig særlig interesse. De to der skal omtales mere indgående her, er beliggende i nationalparkens kerneområder, nemlig i Gribskov og i området omkring Tisvilde Hegn og Arresø. Begge områder kan alene besøges på grund af deres landskabelige værdier, men et besøg er også værd i anden forbindelse, idet områderne spiller fint sammen med andre af nationalparkens temaer så som den levende natur, kulturværdier og fritidsaktiviteter.

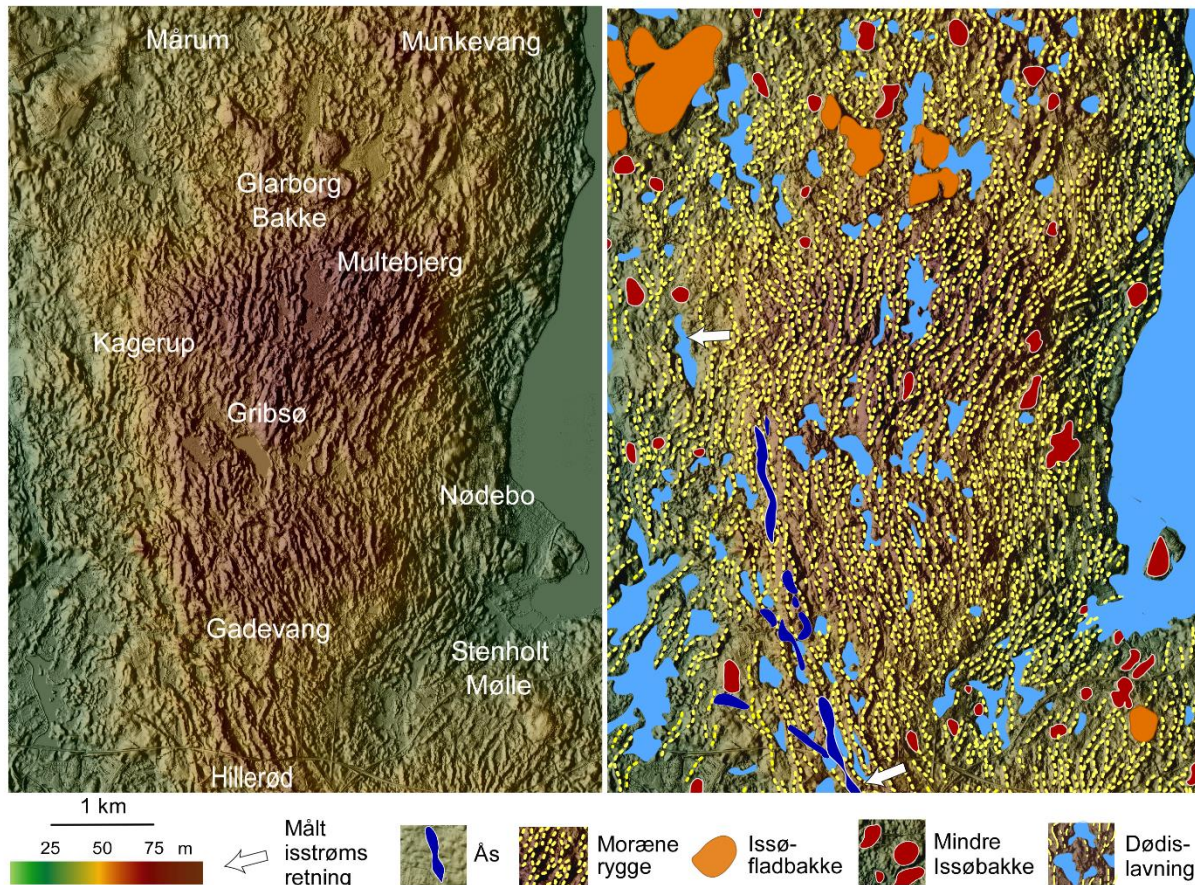
Afslutningen på den sidste istid i Grib skov – landskaber dannet ved nedsmeltning

NØ-Sjællands centrale bakkeland omkring Gribskov når højder på 80-90 meter over havet, og det langstrakte bakkeparti er flankeret af den mere end 20 m dybe Esrum Sø mod øst og et bølget dødislandskab vest for Kagerup (Fig. 11). Storformen er en mere end 4 km bred randmoræne opbygget på tilsvarende måde, som klinterne langs Kattegatkysten, og dannet under NØ-Isens tilbagesmeltning og senere modificeret af den fremadskridende Østjyske Isstrøm. Isstrømmen er siden gledet fra øst ind over bakkerne og har stedvis efterladt et lag af moræneler, ligesom den har foldet og skubbet mindre randmoræner sammen ved Kagerup og i Hillerød. Da den efterfølgende Bælthav Isstrøm stagnerende, er det nuværende meget sammensatte landskab smeltet frem. Visse langstrakte bakkerygge bestående af velafrundet sten og grus iblandet morænegrus, der især findes i randmorænenes vestlige del, er tolket som åse afsat i sprækker og lavninger i isen langs dens rand ved nedstyrtning og efterfølgende sortering i smeltevandsløb under afsmeltningens tidlige fase ⁶. Omkring Mårup og i den nordlige del af Gribskov findes en del næsten kilometer store fladbakker, der sammen med andre mindre issøbakker er klistret ovenpå bakkelandet. Dette skete i forbindelse med nedsmeltningen af den samlede dødismasse, hvor smeltevandsløbet løb gennem dødisen og afsatte deres last af sand og mudder i store lavninger, der var omdannet til smeltevandssøer, hvis bredder bestod af dødis.

Med den fremadskridende nedsmeltning tømtes de isdækkede søer, og de tidligere søbunde stod efterhånden frem som fladtoppede issøbakker. I den tilbageblevne dødis opstod langstrakte spalter, der, styret af Bælthav Isstrømmens afsmeltning, løbende blev fyldt med nedstyrtende morænemateriale. Dette førte til dannelse af en mangfoldighed af små og aflange, op til 15 m høje bakkerygge adskilt af mindst lige så dybe lavninger liggende med 100 til 200 meters mellemrum. I Gribskavs talrige vejgennemskæringer ses ryggene at bestå af både moræneler, morænegrus og smeltevandsgrus med et stenindhold domineret af grundfjeldsbjergarter, men med et iøjnefaldende højt indhold af sandsten fra Skåne. Ryggene er ikke kun knyttet til selve Gribskov; de findes både i forlandet og bag randmorænerne (Fig. 5 & 9).

Dalene imellem bakkeryggene er opstået noget senere, da dødisen, der adskilte de tidligere spalter, begyndte at smelte. Herved opstod efterhånden vandfyldte lavninger, der var under stadig indsynkning på grund af smeltende dødis. Lavningerne blev i den yngre del af Senglaciertid omdannet til stabile søer, hvoraf mange består den dag i dag, og i hvis dybeste bund der ofte er

bevaret rester af arktiske plante og dyrerester, der indvandrede under en mildning i klimaet – Allerødtiden ⁸.



Figur 11: Istidslandskabet omkring Gribsskov. Den centrale bakkeknode er påsyet af et tæppe af langstrakte rygge af morænegrus og enkelte større åse afsat i opsprækket dødis under Bælthav Isstrømmens tilbagesmeltning. Den endelige nedsmeltning har lagt et spredt dække af moræneler vekslende med fladbakke afsat i søer i dødis.

En del store vandreblokke er bevaret i Gribsskov. Det gælder de to såkaldte "Smørsten" og kæmpestenen ved Stenholt Mølle samt Pengestenen i skovens nordlige del nær Harregab (Fig. 12). Så store sten er efterhånden meget sjældne i Danmark, men her har de formået at overleve siden istidens slutning, i modsætning til andre steder i landet, hvor folk har fundet det umagen værd at splitte dem ad og anvende dem i stendysser, kirker og borge, vejfyld m.m.



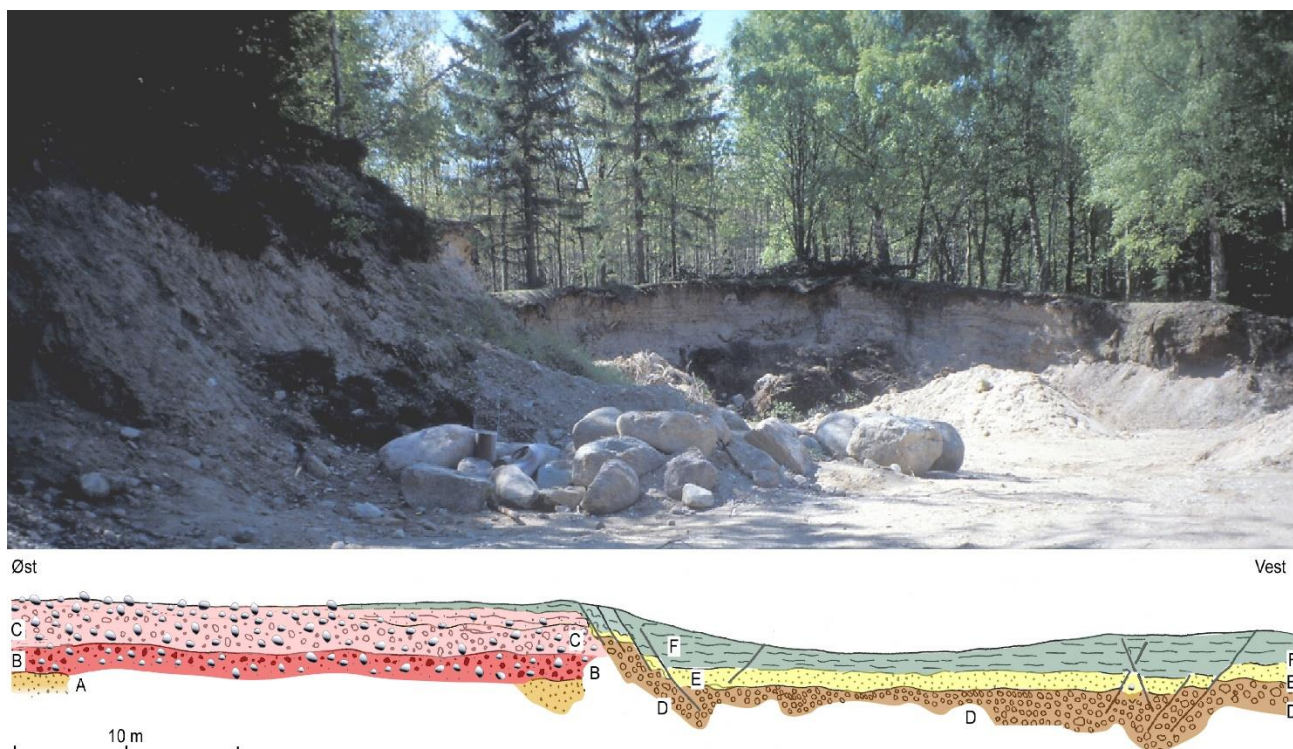
Figur 12: Pengestenen mellem Haregab og Esrum Sø i Gribskov er en båndet gnejs, der måler 3m x 3m og med mindst 1,5 m i højden. Den smeltede ud af isdækket for ca. 17.000-18.000 år siden. Foto: M. Houmark-Nielsen 2008.

Multebjerg

Den tidligere grusgrav ved Multebjerg, der er Gribskøvs højeste punkt på 89 meter over havet, er anlagt i siden på en af de langstrakte stenede og grusede bakkerygge (Fig. 13). De største sten i graven består af granit, gnejs og Kinnediabas fra det skandinaviske grundfjeldsområde. Blandt de fremmede blokke, hvoraf nogle måler mere end 1 m, ses også kambriske sandsten – Hardeberga sandsten – og mindre stykker af kulholdige glimmersandsten begge fra Skåne. Stenene stammer fra moræneaflejringer i graven, der er afsat af en gletsjer, der flød gennem Sydsverige og Skåne inden den nåede Sjælland. Stumper af den lokale undergrund bestående af flint og kalk er også til stede.

Et optegnet profilsnit gennem graven illustrerer landskabets udvikling. Efter dannelse af de store randmoræner, hvor 28.000 år gamle og skråtstillede sandlag indgår (Aflejring A), afsatte en isstrøm fra øst – den Østjyske – et par meter moræneler hen over bakkerne (Afl. B). En mindre horisont af sand adskiller moræneleret fra de oven liggende 3 m stenet og blokrigt morænegrus (Afl. C). Både moræneleret og -gruset har et karakteristisk stenindhold hentet fra det sydlige Småland og nordlige Skåne, mens bjergarter fra selve Østersøen er næsten helt fraværende. Den Østjyske Isstrøm har således afsat moræneler ved smeltning fra bunden, mens isen var i bevægelse, og lagt morænegrus ovenpå ved smeltning fra overfladen under det efterfølgende

dødisstadium. Herefter har Bælthav Isstrømmen invaderet området og store dele af isen blev under dens afsmeltning afsnøret fra hovedstrømmen og omdannet til et dække af dødis, der siden blev kraftigt opsprækket. Denne opsprækning er sandsynligvis ansvarlig for retningen af de mange småbakker i området, der smyer sig udenom de store fladtoppede issøbakker. Nedsmeltningen har desuden medført aflejring af moræneler i den nordlige del af Gribskov.



Figur 13: Øverst: Grusgraven ved Multebjerg i Gribskov (Foto M. Houmark-Nielsen 2015). Nederst et geologisk snit gennem grusgraven ved Multebjerg. Aflejring A: Smeltevandssand og –grus, B: Moræneler afsat af Østjyske Isstrøm, C: Morænegrus afsat i sprækker og lavninger foran gletsjeren under dens afsmeltning, D-E: Stenet grus og –sand afsat i smeltevandssflod, F: Lagdelt mudder og sand afsat i en isdæmet sø. Flod- og søaflejringerne er gennemsat af forkastninger (sorte streger) på grund indsynkning forårsaget af smeltende dødis, samtidig med at aflejring fandt sted.

I grusgravens sydlige del har en vestgående smeltevandssflod skåret sig ned i terrænet og aflejret stenet grus (Afl. D). Efterhånden som vandføringen aftog, blev grus og senere kun sand afsat i flodløbet (Afl. E). Imens sank aflejringerne under flodløbet ned på grund af smeltende dødis begravet i bakken. Den aflange sænkning, der herved opstod, ligger i samme orientering som ryggen med morænegrus, nemlig nordøst – sydvest, hvilket er den retning, som bakker og dale har i området omkring Multebjerg (Fig. 12). Mens indsynkningen fortsatte var vandstrømmen aftaget så meget, at der i det tidligere flodløb opstod en delvist isdæmet sø, hvori der afsattes lagdelt sand og mudder. Datering af sedimentkorn herfra viser, at issøen eksisterede for ca. 19.000 – 18.000 år siden, altså nogenlunde samtidig med at de store vandreblokke i Gribskov smeltede fri. Da den omgivende dødis smeltede, ophørte søen med at eksistere, og samtidig begyndte aflejring af søsedimenter i de nyligt opståede dødishuller, som f.eks. Maglelose, der grænser op til Multebjerg.

Den geologiske udvikling efter istiden – Et eksempel fra egnen mellem Kattegat og Arresø.

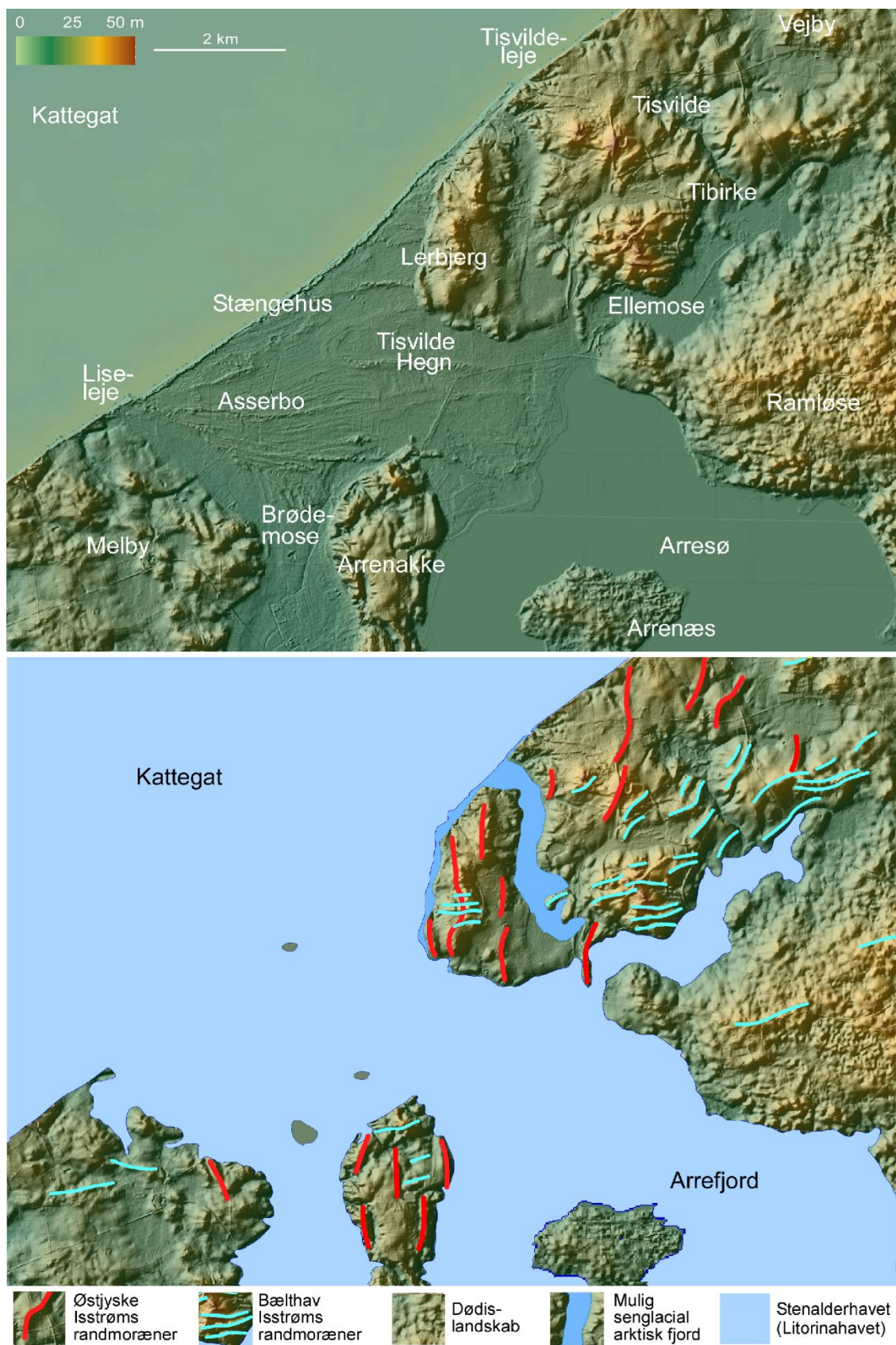
Landskabet mellem Kattegat og Arresø omfatter to klart adskilte terræner nemlig en lukket fjordmunding og et bakket morænelandskab. Den tidligere fjord, som forbandt Arresø med Kattegat, er i dag en ganske jævn og sandet flade, der næppe når mere end 5 meter over havet. På begge sider af Arrefjordens tidligere munding findes et stærkt kuperet istidslandskab, der flere steder når højder på halvtreds meter over havet, og som over lange stræk har bevaret stejle kystklinter fra Stenalderhavets tid. Langs kysten findes et næsten sammenhængende bælte af kystklitter med højder på op mod 10 meter. Disse er blot de yngste i en perlerække af klitter længere inde i land, hvor overfladen over store områder er præget af flyvesand.

Istidslandskabets terrænformer afslører to sæt langstrakte bakker. Det ældste løber omtrent nord-syd, og det er efter alt at dømme skubbet op foran den Østjyske Isstrøm, der invaderede området fra øst (Fig. 14). Et yngre sæt bakker, der regnes for afsat af Bælthav Isstrømmen ¹⁷, og som løber i øst-vestlig retning fra Lerbjerg og forbi Tibirke, er smallere og stejlere end de andre, og de synes at "ride" ovenpå de nord-syd gående israndsbakker. Øst for Ellemosen, hvorfra materialet til Bælthav Isstrømmens randbakker kunne være hentet, er landskabet omkring Ramløse og på Arrenæs præget af afrundede småbakker og lavninger uden foretrukken retning, hvilket kendetegner dødislandskaber (Boks 2).

I Senglaciertiden, da klimaet blev varmere og dødisen var ved at smelte ned, bredte det arktiske *Yoldia* hav sig ned gennem Kattegat og nåede Sjællands kyster. Sporene herefter er sparsomme, men i en boring ved Stængehus er ishavs sandbund gennemboret ca. 8 – 13 meter under nuværende havniveau. Højt liggende terrasser dannet af bølger er truffet i ca. 10 meters højde langs den gamle kystklint ved Lerbjerg og strandgrus er fundet i samme højde i dalbunden øst for Lerbjerg ⁷. Sandsynligheden for at ishavs havet har medvirket til dannelse af den nu hævede kystklint mellem Lerbjerg og Tisvildeleje er således til stede, men denne antagelse har foreløbig ikke kunnet eftervises.

Stenalderhavet – Littorinahavet

Den hurtige havspejlssænkning i Fastlandstiden medførte, at en eventuel ishavs fjord i området hurtigt er blevet tørlagt (Boks 1). Fastlandstiden ophørte, da havet atter trængte ind i det sydlige Kattegat og Bælterne. Boredata ud for Arrenæs i Arresø har godtgjort, at havet var trængt ind i Arrefjorden for omkring 8.500 år siden, hvor vandspejlet havde nået en højde på 10 meter under det nuværende ¹⁸. Stenalderhavet nåede sin maksimale højde omkring 1.500 år senere (Fig. 14). Indtil for knap 5.000 år siden bevarede havet i Arrefjorden sit høje niveau, dog afbrudt af en kortvarig episode med brak- eller ferskvands forhold. Det er ikke klart om denne fase skyldtes de stigninger og fald i Stenalderhavets niveau på omkring 2 meter, som er registreret i boringer i den tidligere fjord, der i dag huser Søborg Sø, eller om udbygning af krumodder på fjordens smalleste sted allerede var i gang. Arresø var gennem mere end 4.000 år en havbugt i Stenalderhavet (*Littorinahavet*), der havde forbindelse til Kattegat gennem farvandet mellem Liseleje og Tisvildeleje. Desuden var fjorden forbundet med Roskilde Fjord via et smalt sund ved Frederiksværk – Brødemose Sund. Havet var da trængt ind i smalle dale, som f.eks. den der i dag er optaget af Ellemosen, og mod øst nåede vandet at trænge op i Pøleåens nedre løb vest for Hillerød. De gamle kystklinter ses flere steder langs Arresøens bredder.



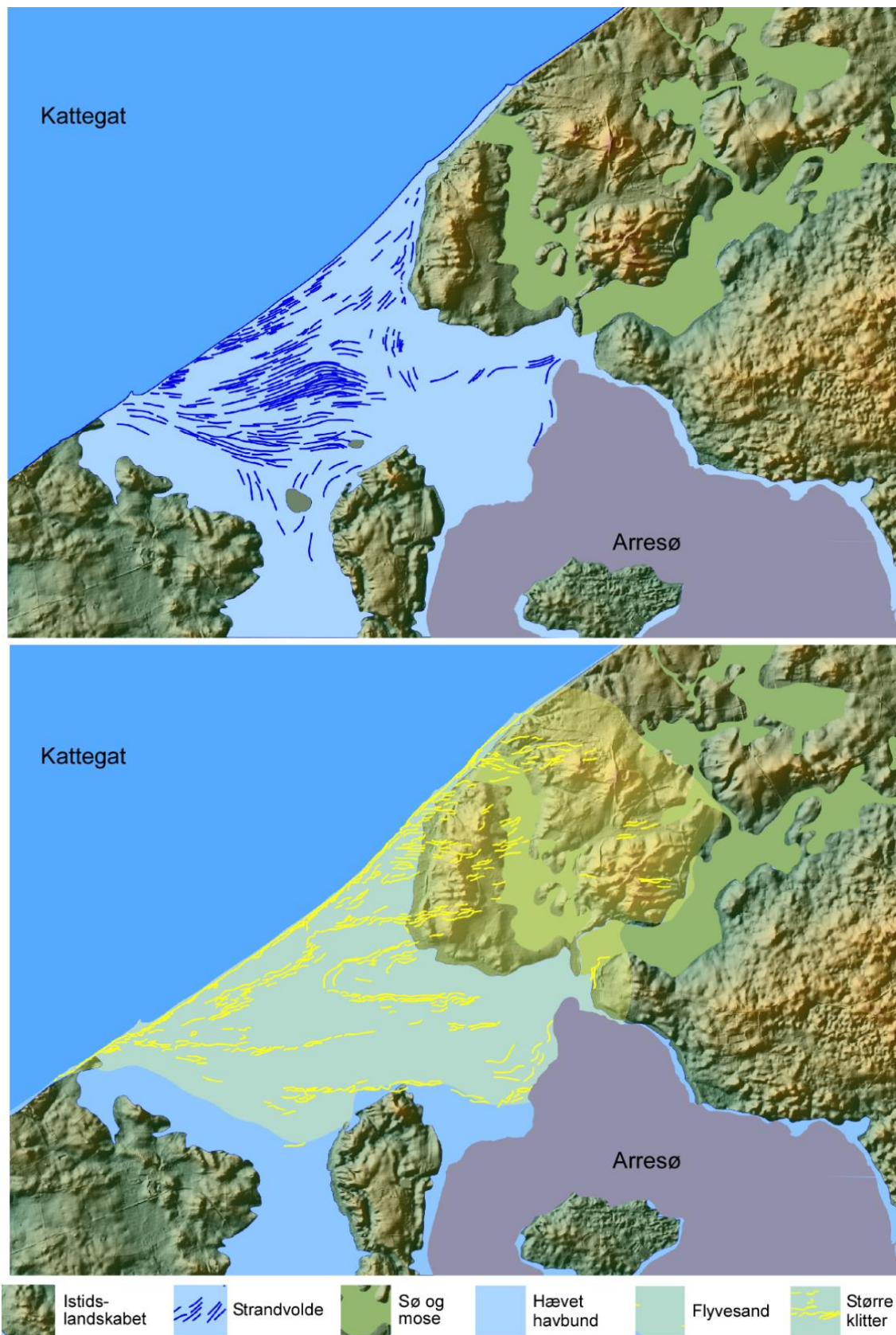
Figur 14: Øverst højdemodel over området mellem Kattegat og Arresø. Nederst istidens landskabsformer og udbredelsen af Stenalderhavet.

Arrefjorden lukkes

Da den yngste af fire episoder med høj vandstand i Stenalderhavet var forbi, faldt vandstanden omkring NØ-Sjælland som følge af landhævning, nu hvor det globale havniveau havde nået et næsten stabilt niveau (Boks 1). Hertil skal lægges virkningen af de klimaforandringer i mere kølig og fugtig retning, der trængte sig mere og mere på mod Stenalderens slutning. Storme blev hyppigere, og vestenvinden blev fremherskende. Bølgeslag og kyststrømme gik til angreb på kysterne, og udviklingen gik imod en mere retlinet kyst på tværs af den dominerende vindretning, som den kyst vi kender i dag. Istidslandskabet, der strakte sig længere ud i Kattegat end i nutiden, blev udsat for erosion og nedbrydning. Sand og grus blev fjernet og transporteret langs kysten for at ende som odder og strandvolde. Dette foregik først i den indre og kystnære del af fjorden, senere længere og længere ude mod den nuværende kyst. I løbet af 3-4 tusind år mellem bondestenalderen og tidlig jernalder opstod den sandede og stenede strandvoldsslette, som i dag ligger mellem Liseleje og Arresø (Fig. 15). Lukningen af forbindelsen til Kattegat begyndte med dannelse af odder på nogle meters vanddybde og senere af strandvolde dannet i bølgeslagszonen. Dannelsen af odder og strandvolde udgik fra to angrebepunkter. I syd førtes materiale fra klinten ved Liseleje forbi munden af Brødemosesund med retning mod Arrenakke, og i nord blev sand og grus transporteret fra kystklinterne ved Lerbjerg langs kysten ind i fjorden også med retning mod Arrenakke. Langs dette tracé er strandvoldene ældst, idet de her er hævet til det højeste niveau i området nemlig mellem 6 og 7 meter over havet. Jo længere ud gennem Tisvilde Hegn og Asserbo mod Stængehus desto lavere og derfor yngre bliver strandvoldene. I dag er de krumme og stenede rygge svejset sammen til en stor strandvoldsslette. Bag strandvoldene opstod rækker af kystklitter magen til dem, der i dag findes langs kysten. De tidligste af disse findes vest for Arrenakke og omkring Asserbo, hvor arkæologiske udgravninger har vist, at folk sent i jægerstenalderen havde gjort ophold nedenfor Arrenakkes gamle kystklint ved Brødemose Sund. I Bondestenalderen mere end tusind år senere og havde folk slået sig ned i den nydannede klit ved Asserbo. Selv på dette tidspunkt må forbindelsen mellem Arresø og Kattegat stadig have eksisteret, men herefter var det snart slut, og forbindelsen blev endelig afbrudt ved overgangen til Jernalderen for omkring 2.500 år siden ¹⁸. Omkring dette tidspunkt har strandvoldssletten altså spærret helt for indgangen fra Kattegat til søen samt for søens forbindelse med Roskilde Fjord gennem Brødemose Sund.

Landhævning og sandflugt

Selv om klitter allerede fandtes langs kysten i Stenalderen nåede klitdannelse og sandflugt sit absolutte højdepunkt i Senmiddelalderen og nyere tid. Sandflugten havde flere årsager, der på uheldigvis blev forstærket efter middelalderens slutning, men det var det kolde og fugtige klima med heraf følgende lavt havniveau og lav grundvandsstand, der lagde grunden til disse seneste større geologiske begivenheder. Faldende temperaturer og nye storm- og lavtryksbaner samt ændrede havstrømme ramte Europa i Jernalderen og tiltog i styrke op til vor tid. Især fra middelalderens slutning og nogle århundreder fremover var vintrene koldere end tidligere og flere storme herskede mere end normalt under perioden kaldet "den lille istid". Også tidligere i Jernalderen fandt sandflugt sted. Om årsagerne kan siges, at der til de geologiske processer skal føjes menneskelige faktorer som overgræsning og rovdrift på landskabets ressourcer som udløsende faktorer. I Norge og Alperne skød gletsjerne frem, i Grønland forsvandt nordboerne og herhjemme kunne svenskekongen føre sin hær over isen fra Fyn til Sjælland, mens landbruget oplevede misvækst med kummerlige livsvilkår til følge.



Figur 15: Øverst Arrefjordens lukning og dannelse af strandvoldslette mellem Arresø og Kattegat i perioden 5.000 – 2.500 år. Nederst ses området dækket af fremtrædende klitrækker og et tæppe af flyvesand dannet i perioden mellem Arrefjordens lukning og moderne tid.

Sænkning af den globale temperatur den lille istid havde fået havspejlet til at falde. Først og fremmest fordi gletsjere under deres vækst binder store mængder nedbør, som således ikke vender tilbage til havet, men også fordi det koldere havvand fylder mindre. Da havspejlet faldt, fulgte grundvandstanden med. Det drejede sig næppe om store beløb, men for den flade strandvoldsslette i munden af Arrefjorden fik det katastrofale følger. Med faldende grundvandsstand udtørrede de øverste sandlag, som derved lettere vil blæse omkring i landskabet, og samtidig svækkes vegetationen. Når der derefter, f.eks. på grund af vinderosion og overgræsning, rives hul på vegetationsdækket, kan vældige sandmængder hurtigt blive fanget af vinden og gå i drift. Dermed er grunden til sandflugten lagt. Sandet blev især hentet på sletten ved Arrefjordens tidligere munding og i vindblæste hulninger i stenalderhavets kystklitter (Fig. 15). Tilførslen af sand stoppede, da vinden ikke længere kunne få fat i løst, tørt sand. Det kunne f.eks. ske, når så meget sand var fjernet, at stenene lå tilbage som en tæt brolægning, der beskyttede det underliggende sand. Sådanne stenbrolagte afblæsningsflader er udbredte i dele af Asserbo Plantage. Afblæsningen af sand kunne også blive stoppet, hvis overfladen nåede ned til grundvandet, eller hvis sandet føg ud over en vandflade som f.eks. Arresø. Afblæsningsflader kan i nutiden ses på den brede sandstrand efter stormvejr. Hvor afblæsningen og klitvandringen har været mindre voldsom, blev sandet samlet i måklitter i læ af græstuer, sten eller andet. Her opstod et mere uregelmæssigt, småkuperet terræn, som i høj grad karakteriserer flyvesandslandskabet i Tisvilde Hegn. Generelt er sanddækket i hegnet i øvrigt ikke særlig tykt, mens de store klitrækker når højder på 3-4 meter over omgivelserne. Nogle af klitterne er indlandsklitter, hvor sand er blæst ind over land, og på flere steder er disse klitrækker kravlet langt ind i istidslandskabet (Fig. 14).

Klinten ved Liseleje – glimt af en 6.000 år lang historie om dannelsen af den moderne kyst

Efter stormvejr er lagene i den lave kystklint ved landingsstedet i Liseleje ofte frilagt, og de vil herefter være synlige indtil klinten skrider sammen igen. Disse lag er afsat i perioden, der dækker Stenalderhavets højeste vandstand, Arrefjordens lukning og den efterfølgende sandflugt (Fig. 16).



Figur 16: Kystklinten ved Liseleje efter storm, november 2004. Lagene i klinten vil for en kort tid være synlige. Lagfølgen er afsat i forbindelse med Arrefjordens lukning og den efterfølgende sandflugt.

I den stejle skrænt, ses nederst skalførende ler afsat på Stenalderhavets mudrede bund (L). Herpå følger sandede aflejringer, der hælder svagt mod nord, og som er dannet ved udbygning af odder i retning ind mod Arrefjorden (O). Oddesandet afsluttes opadtil af grusede og stenede

strandvoldsdannelse dannet i bølgeslagszonen (S). Da området kom oven vande som følge af landhævning, blev en jordbund udviklet i toppen af lagene (J). Hvor lang tid jordbunden var om at dannes vides ikke, men på et tidspunkt blev den dækket af flyvesand og klitter, de yngste er fra Senmiddelalderens sandflugt (K).

Tæt under klinten ved landingsstedet kunne lagfølgen tidligere ses i detaljer (Fig. 17). Nederst findes sand med spor efter gravende organismer (S) og ler med store mængder af skaller især af Hjertemusling (L). Oven på er lagt hældende lag af sand og grus, der er rester af en odde (O), hvis skrånende lag viser, at odden blev bygget ud langs kysten, med retning mod Arrefjordens munding. Oddes øvre del er afskåret og dækket af stenet strandvoldsgrus (S), i hvis top en jordbund fra Fastlandstiden er udviklet. En klit dækker området bag klinten (K).



Figur 17: Det nu dækkede parti af klinten ved landingsstedet i Liseleje. Stenalderhavets bundlag er dækket af sand og grus efter en odde, der byggede sig ind i Arrefjorden fra vest (højre).

Klintens lag vidner altså om indsnævring og efterfølgende lukning af Arrefjorden. Det skyldtes dannelse af odder, der oven på havbunden vandrede ind mod fjordens munding. Som følge af faldende vandstand blev oddedannelsen efterfulgt af opskylning af strandvolde. Da strandvoldssletten var hævet tilstrækkeligt og stabiliseret, gav det mulighed for dannelse af en jordbund i Fastlandstiden. Klitter og flyvesand har forsegleet det tidligere landskab. I dag er klinten dækket af et brystværn af store sten.

Afslutning

Denne fremstilling af geologien og landskaberne i området omkring Nationalpark Kongernes Nordsjælland kan ikke siges at være fyldestgørende, men ud fra de givne præmisser og tidspres under udarbejdelsen, er notatet at betragte som "dagens bedste bud ud fra de givne data". Fremstillingen lægger især vægt på emner og områder, som forfatteren kender godt og selv har arbejdet med. Andre fagfæller ville måske have fremhævet andre områder og emner, det må være et individuelt skøn. Ud over de tre interesseområder, der er beskrevet her, findes en række andre områder indenfor nationalparken, hvor det ville være oplagt at udføre mere indgående beskrivelser. Områderne har mange fælles træk, men udmærker sig samtidig ved at have deres helt eget udtryk og dække over deres egen særlige historie. Det drejer sig om: Dødislandskabet omkring Grønholt, Gurre Sø og omegn, Øresundskysten omkring Espergærde og Humlebæk, området mellem Hornbæk

Plantage og Dronning Mølle, Teglstrup Hegn – Helsingørområdet og Helsingør – Græstedegnen med sine store forekomster af issøaflejringer.

Det ville være ønskeligt, om Nationalparkrådet måtte anbefale bestyrelsen, at få fremstillet beskrivelser af forholdene i de øvrige potentielle "hotspots" eller interesseområder, ligesom udarbejdelse af et landskabs kort f. eks. i målestok 1:50.000 ville kunne være en slags "vejviser" for de naturskabte herligheder i nationalparken. Desuden ville det være naturligt, om en samlet redegørelse for de regionale- så vel som de lokale geologiske og landskabsmæssige forhold, når den foreligger, bliver offentlig tilgængelig f.eks. gennem "open acces" publikation i Dansk Geologisk Forenings serie: Geologisk Tidsskrift.

Under alle omstændigheder ligger viden og formidling af geologien og landskaberne i nationalparken, som et fundament for nationalparkens øvrige kerneområder og spiller i høj grad sammen med disse.

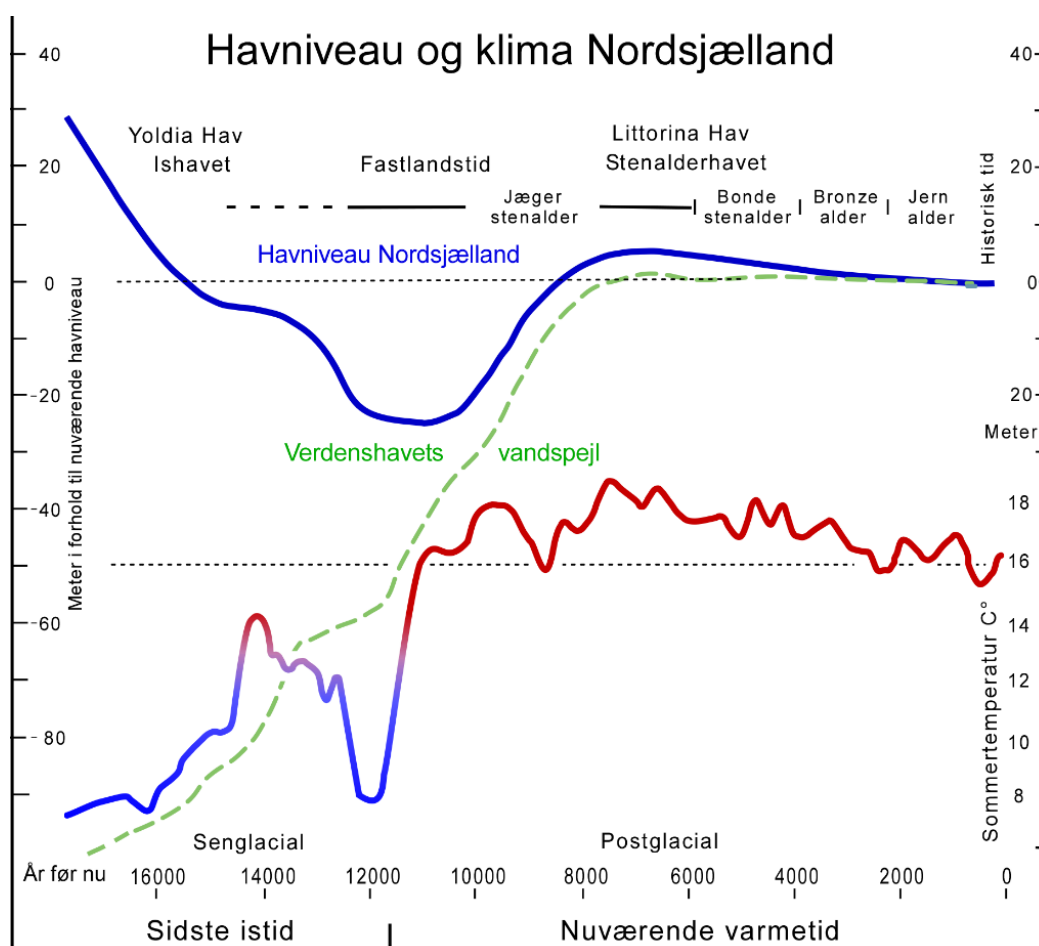
Litteratur

- ¹ Houmark-Nielsen, M., Kjær, K.H. & Krüger, J. 2005: De seneste 150.000 år i Danmark, istidslandskabets og naturens udvikling. *Geoviden* 2, 20 p.
- ² Houmark-Nielsen, M., Knudsen, K.L. & Noe-Nygaard, N. 2017: *Istider og mellemistider*. Kap. 13 i *Naturen i Danmark, Geologien*, Gyldendal, 3. udgave, s. 255-301.
- ³ Noe-Nygaard, N., Knudsen, K.L. & Houmark-Nielsen, M. 2017: *Fra istid til og med jægerstenalder* Kap. 14 i *Naturen i Danmark, Geologien*, Gyldendal, 3. udgave, s. 303-331.
- ⁴ Berthelsen, A. 1978: The methodology of kineto-stratigraphy as applied to glacial geology. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 27, s.25-38.
- ⁵ Houmark-Nielsen, M. 2003: Signature and timing of the Kattegat Ice Stream: onset of the LGM-sequence at the south western margin of the Scandinavian Ice Sheet. *Boreas* 32, 227-241.
- ⁶ Rørdam, K. 1893: Kortbladene Helsingør og Hillerød. *Danmarks Geologiske Undersøgelse* I rk. 1, 110 s.
- ⁷ Rørdam, K. 1892: Saltvandsalluviet i det nordøstlige Sjælland. *Danmarks Geologiske Undersøgelse* II rk. 2, 151 s.
- ⁸ Milthers, V. 1943: NV-Sjællands Geologi. *Danmarks Geologiske Undersøgelse* V rk. 6, 185 s.
- ⁹ Houmark-Nielsen, M. 1981: Glacialstratigrafi i Danmark øst for Hovedopholdslinien. *Dansk Geologisk Forening Årsskrift for 1980*, 61-76.
- ¹⁰ Smed, P. 1981: *Landskabskort over Danmark. Blad 4: Sjælland m.m.* Geografforlaget.
- ¹¹ Smed, P. 2016: *Sten i det danske landskab*. Højers Forlag, 4. udgave, 271 s.
- ¹² GEUS, National Boringsdatabase 2019: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter/>
- ¹³ Richardt, N., Belhage, L. & Funder, S. 1999: Øresund i 20.000 år. *VARV* nr. 3, s. 67 – 95.
- ¹⁴ Skov- og Naturstyrelsen 1987: *Råstoffer og fredningsinteresser*. Nordsjælland. Oversigt. Skov- og Naturstyrelsen Hørsholm, 58s.
- ¹⁵ Aaris-Sørensen, K. 2016: *Danmarks pattedyr fra istid til nutid*. Statens Naturhistoriske Museum, 256 s.
- ¹⁶ Houmark-Nielsen, M. 2012: Hvad fortæller vore store vandreblokke om alderen af det danske istidslandskab: Kosmogen eksponeringsdatering af kæmpesten. *Geologisk Tidsskrift* 2012, 13 s.
- ¹⁷ Andersen, S. & Houmark-Nielsen, M. 2014: *Geologi og landskab – Naturgrundlaget formes*. I: F. Rune: *Tisvilde Hegn*. Forlaget "Esrum Sø", s. 15 – 45.
- ¹⁸ Bennike, O., Pantmann, P. & Aarsleff, E. 2017. Holocene development of the Arresø area, north-east Sjælland, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 65, s. 25–35.

Boks 1: Havniveau og klima i NØ-Sjælland i de seneste 18.000 år

Det er ændringer i havspejlet og klimaforandringer, der har nedbrudt og omformet istidslandskabet i NØ-Sjælland til det landskab, vi kender i dag. Gammelt land er forsvundet eller har fået ændret udseende, mens nye landskaber skabt af hav og vind er vokset frem.

Vandstanden i verdenshavene beror på mængden af vand, der er bundet i de store iskapper på kontinenterne. Når klimaet bliver varmere, smelter isen og havspejlet stiger, når det bliver koldere vokser mængden af is på landmasserne og havspejlet falder. Mod slutningen af sidste istid blev der skruet op for den solstråling, som Jorden modtog, hvilket medførte kraftig opvarmning. Således er det også foregået tidligere i den geologiske historie, når en istid skifter til mellemistid. Den mængde vand der var bundet i isskjoldene, da sidste istid var koldest for ca. 25.000 – 20.000 år siden, svarer til en sænkning af det globale havspejl på omkring 120 meter. I de følgende 10.000 – 12.000 år smeltede isskjoldene, og vandstanden steg i verdenshavene til det niveau, vi har i dag (Figur Boks 1).



Figur Boks 1: Ændringer i kystlinjens højde i det nordlige Sjælland de seneste 16.000 år (kraftig blå kurve) skyldes dels den hurtige landhævning efter isens bortsmelten, dels stigning i verdenshavenes vandspejl (stiplet grøn kurve). Klimaet i Nordvesteuropa (kraftig blå – rød kurve) blev styret af havstrømmene i Nordatlanten og indstrålingen fra solen.

I vore farvande skete der imidlertid betydelige svingninger af havspejlet i perioden fra ca. 18.000 år siden til i dag; højt havspejl afløstes af havniveausænkning indtil en fornyet stigning indtraf. Verdenshavens vedvarende stigning blev forstyrret af jordskorpens hævnning, fordi isskjoldets vægt over Danmark var fjernet. Jordskorpen måtte nødvendigvis løftes til niveau fra før isdækket invaderede området om end med en stor forsinkelse i forhold til den momentane havstigning, der fremkom, når isskjoldene smeltede. Kurven over det lokale havspejl i NØ-Sjælland fortæller, at på grund af den voldsomme nedpresning af jordskorpen kunne havet, selvom det lå omkring 100 meter lavere end i dag, trænge ind i gennem Kattegat, da isen smeltede bort. Selvom verdenshavet steg kraftigt i samme periode, var vores lokale landhævning stærkere, hvilket medførte, at havspejlet sank og nåede et minimum på ca. $\div$ 30 meter i Fastlandstiden. Efterhånden gik afsmeltningen af isskjoldene så hurtigt, og samtidig med aftagende landhævning begyndte havet omkring Danmark begyndte at stige, indtil det fandt sit højeste niveau for ca. 7000 år siden. Men vores lokale havspejl faldt herefter, fordi landhævningen stadig foregik, uden at havet steg yderligere. Derfor er Stenalderhavets strandaflejringer og kystkliner hævet ca. 4 m i det nordøstlige Sjælland.

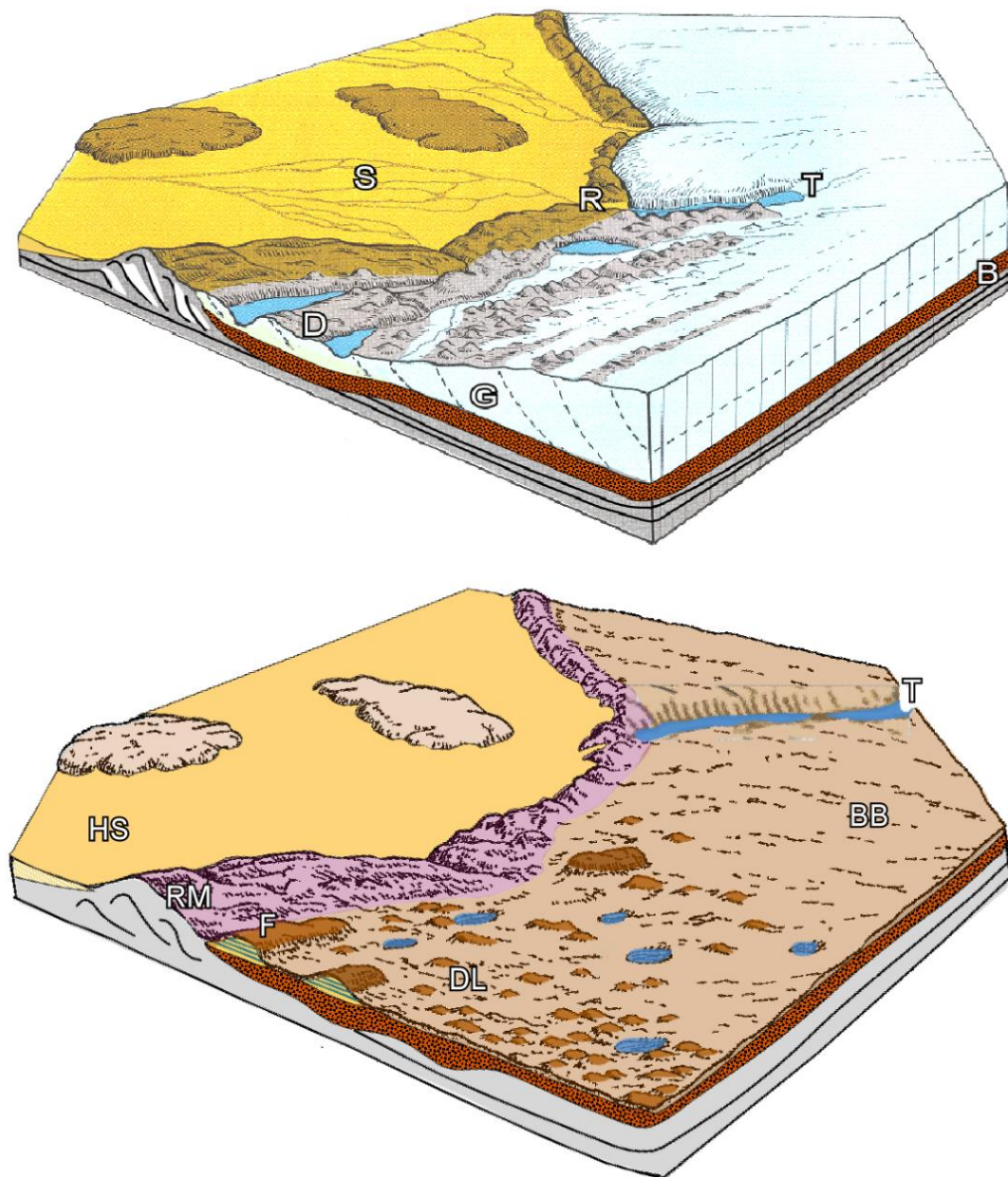
Disse begivenheder var altså styret dels af hævnning i jordskorpen dels af forandringer i klimaet. Den energi vores nordlige Halvkugle modtog fra solen var stigende indtil afslutningen af sidste istid, hvorefter den begyndte at aftage. Dette skyldes tilbagevendende og langsomme ændringer i Jordens omløb omkring solen og jordaksens rotation, der betyder Jordens klima veksler mellem istid og mellemistid.

Andre og mere kortvarige begivenheder har påvirket vores klima fra sidste istids slutning til i dag. Det drejer sig om havstrømmene i Nordatlanten. Strømmen fungerer som en varmepumpe, der fører varmt vand fra sydlige breddegrader op langs Vesteuropas kyster, og både dens styrke og lokalisering i oceanet varierer. Ændringer i strømningsmønstret i Nordatlanten har indflydelse på luftmassernes strømning i atmosfæren, hvilket betyder, at højtryk forstærkes eller svækkes og lavtryksbanerne svinger mellem nordlige og sydlige baner. Det medfører, at med flere og kraftigere storme veksler med mere rolige perioder. Derfor er temperaturkurven i Figur Boks 1 både påvirket af de langsomme indstrålingsbetingede forandringer og de hurtige strømningsbetingede ændringer. Her ses, hvordan temperaturen i slutningen af sidste istid steg kraftigt, men denne stigning blev afbrudt af et tilbagefald til istidsforhold, fordi den Nordatlantiske strøm blev forstyrret af smeltevand fra isskjoldene. Siden Stenalderen, hvor temperaturen var på sit højeste, er det med variation ubønhørligt gået mod køligere forhold, som kulminerede i kuldebølgen "den lille istid".

Litteratur: Naturen i Danmark 3. udgave, kapitel 12, 13, 14, 15. Gyldendal 2017.

Boks 2: Et istidslandskabs opståen

Når gletsjere invaderer et område for senere at smelte bort efterlader de sig et karakteristisk selskab af landskabsformer, det er bl.a. dem, der har formet det Nordøstsjællandske istidslandskab (Figur Boks 2, øverst).



Figur Boks 2: Øverst ses randområdet af en gletsjer under nedsmeltning. Nederst nogle mulige terrænformer i det nuværende istidslandskab ¹.

¹ Omtegnet efter J. Krüger 2000: Kompendium i Glacialmorfologi – fladlandsgletscheren og landskabet, figur 3.1 & 3.2. Geografisk Institut, Københavns Universitet.

Det Skandinaviske Isskjold blev dannet af nedbør, som faldt i den norsk-svenske fjeldkæde og flød som tyk grød ud over det nordeuropæiske lavland. Flere gange under den sidste istid nåede isskjoldet ud over Danmark. Studier af fladlandsgletsjere fra Island har bidraget med værdifuld viden om hvordan et isskjold egentlig virker. Mens isen flyder, optagers underlagets bestanddele af ler, grus og sten i gletsjerens sål og føres med den strømmende is som på et transportbånd op i gletsjeren (G). Nær isranden afsættes materialet igen fra bunden af den flydende is i form af moræneler, der indgår i gletsjerens bundmoræne. Langs isens rand presses sedimenter og afkoblet gletsjeris langs en vold (R), hvor det stables i flager og foldes sammen i en bakkekam bestående af morænemateriale og gletsjeris. Isranden grænser op til smeltevandssletten (S). Her fører flettede floder sand og grus bort fra gletsjeren og ud i det isfrie forland, hvor partier af et tidligere dannet istidslandskab stikker op. Bag randen findes en vekslen af sprækker og lavninger i den efterhånden stillestående gletsjer (D), hvor smeltevand samles i isdæmmede søer, og morænemateriale smelter fri på isens overflade. Smeltevandet løber i sprækker og hulninger nede i isen, hvor det kan samles i større tunneler (T), der enten i åbne løb eller skjult under isen leder vandet ud mod særlige toppunkter på smeltevandssletten.

Efterhånden som isen smelter ned vil dødisen i den sammenstablede vold langs randen få bakkeryggen til at synke sammen, mens morænematerialet på isens overflade, der før udgjorde bakker på isen, synker ned mod bundmorænen. I modsætning hertil vil de laveste områder i dødisen, nemlig bunden af de tidligere isdæmmede søer, ved den tiltagende smeltning rage op i mellem resterne af dødisen.

Det istidslandskab, der står tilbage efter afsmeltningen, afspejler de processer, der foregik under, over og foran gletsjeren (Fig. Boks 2, nederst). Hvor isen havde sin rand stående findes i dag en randmoræne (RM), hvis indre består af sammenskudte og foldede lag. Foran randmorænen ligger en sandet og gruset hedeslette (HS), hvor dele af ældre istidslandskaber stikker frem. Bag den tidligere isrand findes den bølgede bundmoræne, hvis overflade kan være strømlinet i isens flyderetning eller som kan være oversået med små morænebakker, dannet i mindre sprækker i den smeltende dødis. Morænefladen kan være gennemskåret af en tunneldal, der hvor smeltevandet samledes i rør og tunneler på vej mod smeltevandssletten. Den bølgede moræneflade kan umærkeligt gå over i dødismorænen (DL), hvis terrænformer afspejler nedsmeltning af den stillestående is. De tidligere søbunde står frem som fladtoppede issøbakker, hvis indre består af lagdelt sand og ler. Mindre issøbakker findes også i dette dødislandskab, lige som morænelandet her er nubret og hullet, med små afløbsløse lavninger dannet i huller fra de sidste rester af smeltet dødis. Også her ses nogle gange små slyngede bakker, der har taget form efter den fremherskende sprækkeretning i den nedsmeltende dødis.

Litteratur: Naturen i Danmark, Gyldendal 3. udgave 2017, kapitel 16.

Klostergade 12A, 3230 Græsted
www.nationalparkkongernesnordsjaelland.dk
knsj@danmarksnationalparker.dk
