

# Nordøstsjælland geologi og landskaber – fra istid til nutid

AF: MICHAEL HOUMARK-NIELSEN



Globe Institutttet, Københavns Universitet, Øster Voldgade 5-7,  
1350 København K [michaelhn@sund.ku.dk]

Houmark-Nielsen, M. 2024: Nordøstsjælland geologi og landskaber – fra istid til nutid. *Geologisk Tidsskrift* 2024, side 32–106. ISSN 2245-7097, København.

Nationalpark Kongernes Nordsjælland besluttede i forbindelse med Nationalparkplan 2020-2026 at få beskrevet Nordøstsjælland yngste geologiske historie fra istiden til nu. Formålet er at fremme viden om og formidling af nationalparkens og Nordøstsjællands geologi og landskabsdannelse. Landskabet er en hjørnesteen i nationalparkens virke, og forståelsen af landskabets dannelse er central for nationalparkens mangeartede aktiviteter.

Nationalparken indgik i tæt samarbejde med Dansk Geologisk Forenings repræsentant i nationalparkrådet, Michal Houmark-Nielsen, som forfattede i alt 5 rapporter for nationalparken (Houmark-Nielsen 2019, 2021a, 2023a, b, c). Denne artikel sammenfatter og udbygger de fem rapporter.

## Baggrund

Synliggørelse af de geologiske værdier sker først og fremmest gennem nytegnede landskabskort, der bygger på analyser af digitale terrænmodeller og kortmateriale leveret af Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur suppleret med allerede eksisterende landskabskort. Den ledsagende tekst, uden hvilken landskabskortene vil fremstå udokumenterede, tager udgangspunkt i udgivelser af geologiske kortbladsbeskrivelser og digitale jordartskort samt udtræk fra Jupiter boredatabasen formidlet af GEUS. Et righoldigt og uundværligt udbud af anden faglitteratur er ligeledes benyttet. Kortene viser udbredelsen af forskellige terrænformer, og samspillet mellem dem og deres dannelseshistorie udrulles langs en tidslinje, der dækker den geologiske udvikling i den sene del af Kvartærtiden. Historien spejler en række begivenheder, der strækker sig over de seneste knap 40.000 år, og som omfatter fire isdækkers invasion i Sen Weichsel, Senglacialtidens nedsmeltning og Postglacialtidens omformning af istidslandskabet. Når det gælder landskaberne, har V. Milthers indgående

beskrivelser af de enkelte terrænformer været en vigtig inspirationskilde (Milthers 1935, 1948). Det samme gælder Smed (1981), der har givet en regional oversigt af landskabets sammensætning, mens Jakobsen (2022) har udgivet en samlet digital fremstilling, der først og fremmest læner sig op ad tidligere arbejder.

Af artiklens landskabsbeskrivelser fremgår at den sammensatte formverden, der fremkommer, fordi flere isdækker fra forskellige retninger har afløst hinanden, kan være vanskelige at skille ad i alders- og dannelsesmæssige enkeltdele. Hertil kommer, at en væsentlig del af istidens terrænformer ofte kan have deres oprindelse i ét glacialt miljø, for herefter at gennemleve omformning påtrykt under andre forhold, for endelig at smelte fri i en tredje ikklædning. Anderledes forholder det sig med de Sen- og Postglaciale terrænformer, der i højere grad end de glaciale fremstår mere velbevarede, ligesom deres alder og oprindelse er veldokumenteret. Da det har været et mål at skabe overblik og en vis form for klarhed omkring landskabskortene, er diskussion af de landskabsdannende processer med vilje underspillet, ligesom der kun med let hånd er redegjort for kvaliteten af de geologiske data, der indgår i arbejdet med at beskrive og forstå de enkelte af NØ-Sjællands landskabsformer.

## Geologisk ramme

Det nordøstsjællandske område ligger mellem Isefjord, Kattegat og Øresund (Fig. 1). Den tidligste regional-geologiske beskrivelse med redegørelse for den kvartær-stratigrafiske opbygning og landskabets oprindelse findes hos Rørdam (1899) og heraf fremgår, at visse dele af landskabet må være skabt under indflydelse af mere end ét isdække, nemlig de to hvis moræneaflejringer optræder i Rørdams stratigrafiske ramme. Set i lyset af efterfølgende geologiske landvindinger oprustede Milthers (1935) Rørdams arbejde med væsentlige tilfø-



Fig. 1. Terrænmodel over NØ-Sjælland med stednavne nævnt i teksten.

jelser, men lagde dertil også stor vægt på egne observationer og tolkninger, der gjorde op med mange af Rørdams anskuelser, især når det gjaldt skelnen mellem randmoræner og åse. Selvom Milthers anerkendte, at det Skandinaviske Isskjold flere gange havde invaderet NØ-Sjælland, forudsatte han i modsætning til Rørdam, at landskabet udelukkende måtte være dannet i forbindelse med det seneste isdækkes afsmeltning.

I flere efterfølgende arbejder slås det imidlertid fast, med baggrund i arbejder af S.A. Andersen (1933, 1950), at tre større isstrømme fra henholdsvis Sydnorge, det mellemste og sydlige Sverige samt Baltikum var medvirkende til dannelsen af istidslandskabet i NØ-Sjælland og, at aflejringer herfra indgår i områdets stratigrafiske opbygning sammen med andre kvartære dannelser (Berthelsen 1974; Sjørring 1974; Houmark-Nielsen 1999; Smed 2014). Samtidig tages Rørdams stratigrafiske model også under revision med væsentlige tilføjelser, og det er bl.a. disse arbejder, der sammen med en række mindre afhandlinger har været inspirationskilden til den foreliggende redegørelse, der behandler både de stratigrafiske, isstrømskronologiske og landskabsmæssige forhold i NØ-Sjælland.

## Det NØ-Sjællandske område

Terrænet i NØ-Sjælland former sig som en række høj-

dedrag mellem Isefjord og Øresund liggende i omtrent nordvest-sydøstlig retning (Fig. 1). Det mest fremtrædende, som danner rygraden i landskabet, løber fra Rågeleje over Græsted gennem Gribskov og Store Dyrehave og når højder på knap 90 meter over havet i Gribskov. Andre højdedrag strækker sig fra Tisvilde over Frederiksværk til Ølsted og Frederikssund, mens mindre regelbundne bakkekuder har retning gennem Helsingørområdet forbi Gurre mod Fredensborg. Også højdeområdet gennem Halsnæs og Hornsherred kan tælles i denne kategori. Højdedragene afbrydes af sænkninger i landskabet, hvoraf nogle når tæt på eller under nuværende havniveau som f.eks. Arresø og Roskilde Fjord, Søborg Sø, Esrum Sø og Nivå lavningen. I nord skærer Gurre Sø og dalene ved Hornbæk og Søborg Sø sig gennem området. Lavningerne er ofte hjemsted for floddale, ligesom mindre bakker, dale og sænkninger ligger strøet ud over store arealer, hvilket lægger et bulet og bølget tæppe over det samlede terræn. Langs den retlinede udligningskyst mod Kattegat og det nordlige Øresund har bølger og strøm eroderet stejle klinter i højdedragene og som følge heraf også aflejret strandsedimenter i forlandet, mens fladkyst og mindre bugter har formet sig efter terrænet langs Roskilde Fjord og Øresund syd for Helsingør.

I højtliggende områder består jordarterne i overfladen for størstedelen af smeltevandssand og grus, mens



de nordlige kystområder og slettelandet syd for Hilerød og Karlebo for det meste dækkes af moræner (Rørdam 1899). Både store og små lavninger, dalstrøg er helt eller delvist fyldt med postglaciale ferskvandsdannelser bortset fra søer som f.eks. Arresø, Esrum Sø, Gurre Sø, Sjælsø m.fl. Ud over de nuværende havområder er de lavest liggende landområder nær kysterne optaget af postglaciale marine aflejringer, mens flyvesand ligger som et slør i en bræmme langs de kystnære områder næsten hele vejen mellem Hundested og Helsingør.

Under overfladen findes en række forskellige kvartære sedimenter bestående af moræner, smeltvandssedimenter og i sjældne tilfælde af ishavsaflejringer og senglaciale ferskvandsaflejringer. Lagene kan ses i kystklinter, råstofgrave og borer, hvor de ofte indgår som fragmenter af en større og samlet lagfølge. Bundgrænsen for kvartærtidens aflejringer, den såkaldte 'prækvartærflade', afspejler undergrundens relief (Fig. 2A). I Nordvestskåne har fladen en varieret topografi, domineret af horstlignende højderygge, hvor grundfjeld når mere end 100 meter over havet f.eks. på Kullen og Söderåsen. Disse skånske åse er flankeret af gravsænkninger, der gemmer tykke sedimentpakker afsat gennem en stor del af Jordens geologiske historie fra Palæozoikum til i dag. Omkring København og Malmø har prækvartærfladen et mere roligt relief, hvor den ligger lidt over havniveau, mens den befinder sig under havets overflade og begravet under tykke kvartære lag og skåret af enkelte større dale i det meste af NØ-Sjælland.

Undergrundens bjergarter ligger som en mosaik

af stærkt aldersforskellige formationer på prækvartærfladen (Fig. 2B). Deres udbredelse er et resultat af bevægelser i den dybe undergrund langs den Fennoskandiske randzone, der danner skel mellem gamle bjergarter over Skåne og unge over Sjælland. I NØ-Sjælland og i Københavnsområdet brydes den ensartede kalkoverflade af mindre nedforkastede blokke af Paleocæne aflejringer. På tværs af Øresundsområdet findes den smalle og ret dybe Esrum-Alnarp dal, opstået ved indsykning langs syd-flanken af randzonen. Dalen, hvis bund når ca. 60 meter under nuværende havniveau, fortsætter ud i Kattegat, hvor den uddybes. I modsat retning krydser den Sundet og løber videre gennem det sydlige Skåne. Indsykning i den sene del af Kvartærtiden har bevirket, at dalen i sidste istid har fungeret som afløb fra Østersøsænkningen og i perioder som det ark-tiske Kattegats forlængede havarm.

Mange forskellige sten og blokke fra de nordøstsjællandske istidsaflejringer har deres oprindelse i gletsjernes passage gennem Kattegat, over Skåne og den sydlige del af Østersøen. Selvom ubestemmelige stumper af det Skandinaviske grundfjeld er dominerende, er der blandt de krystallinske bjergarter en del blokke fra Osloområdet (Rombeporfy), det mellemste og sydlige Sverige (Dalarblokke og Kinnediabas og skånsk basalt), mens Østersøområdet har været leverandør af en række porfyrer; alle bjergarter hvis hyppighed har været behandlet systematisk med det formål at udrede strømningsforholdene i isdækket (Millthers 1942). Nyere undersøgelser har vist at isstrømmene i Sen Weichsel, der omfatter Kattegat Isstrømmen, NØ-isen, Østjyske Isstrøm og

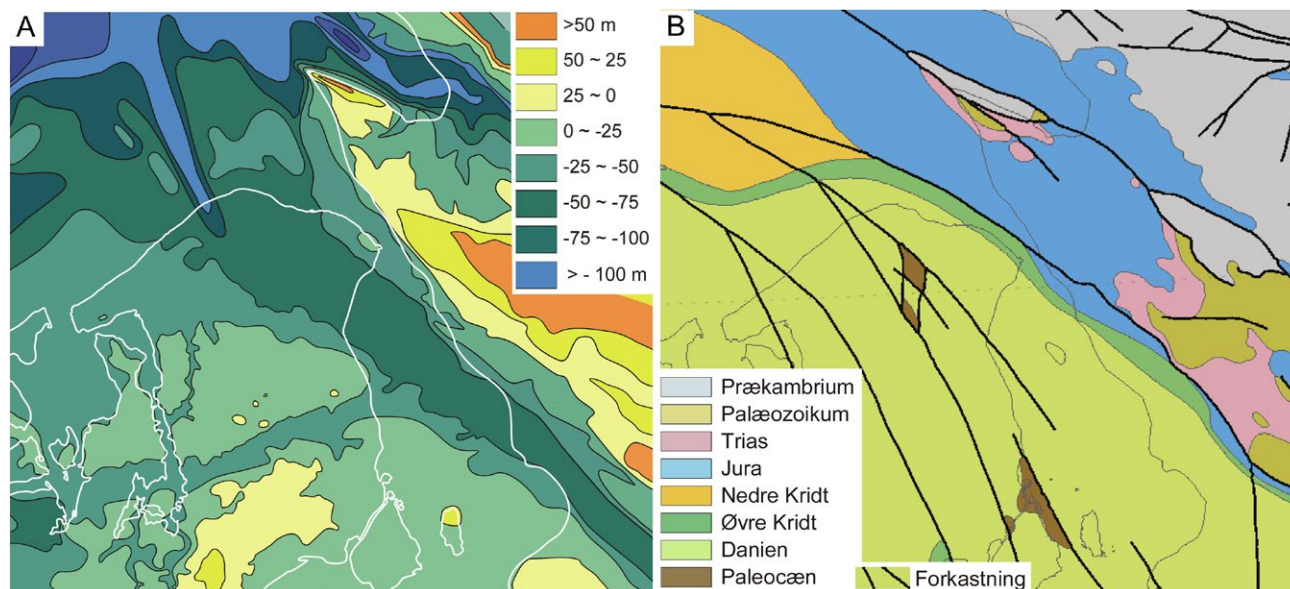


Fig. 2. A: Undergrundens topografi (efter Gravesen *et al.* 2017). B: Udbredelsen af undergrundens bjergarter i området omkring Øresund (efter Håkansson & Pedersen 1992). Esrum-Alnarpdalen skærer gennem Nordøstsjælland og Sydvestskåne.

Bælthav Isstrømmen, har ført andre bjergarter til NØ-Sjælland. Fra Sydnorge og bunden af Kattegat gælder det Larvikit og Trias-Jura sedimenter, fra nordvest Skåne stumper af rødlige sandsten fra Trias og kulførende skifre og sandsten fra Jura. Østfra stammer den hårde og lyse palæozoiske Hardebergasandsten, rosa farvede Trias sandsten og de mørke kulførende sandsten og skifre fra Jura. Det yngste isdække har bidraget med bjergartsstumper fra den sydlige Østersø og det sydlige Skåne, der domineres af palæozoiske sandsten, skifre og tætte Ortoceratit-kalksten. Hertil kommer flint og kalksten af mere lokal oprindelse fra Danien samt kalk og mergel fra lokale forekomster af Paleocæn alder. Bjergarterne og deres transportveje er udførligt behandlet i opslagsværker om ledeblokke og andre istransporterede sten i danske istidsaflejringer (Smed 2024).

### Den geologiske historie

En kvalificeret redegørelse for NØ-Sjællands geologiske historie tager udgangspunkt i en regional stratigrafisk sammenstilling (Fig. 3). Den her opstillede model bygger på et varieret datasæt, der omfatter litologisk beskrivelse sedimenter, analyse af fossilindhold, udredning af istektonisk deformation, og aldersbestemmelser. Selv om der ofte forekommer større afbrydelser mellem de forskellige formationer, er det muligt at sætte en lagfølge sammen, der strækker sig fra den yngre del af Mellem Weichsel, gennem Holocæn til i dag, og som i grove træk er et produkt af den geologiske udvikling fra de seneste 40.000 år. Den

kan naturligt deles i tre etager, 1: Den dybe lagfølge – landskabets fundament, 2: De store nedisningers lagfølge – istidslandskabets hjørnesteen og 3: Lagene fra Senglacial og Holocæn – istidens efterdønninger og vores nuværende varmetid.

### En tidslinje

Den stratigrafiske model kan 'oversættes' til en tidslinje, der dækker væsentlige geologiske begivenheder, der har haft indflydelse på de nordøstsjællandske landskabers historie (Fig. 4). Under den anden halvdel af sidste istid i Mellem og Sen Weichsel herskede i begyndelsen isfrie forhold med arktisk klima, tundra og udbredt permafrost. Under sidste istids voldsomste kuldeperiode blev disse forhold afbrudt af fire episoder med nedisning adskilt af isfrie tidsafsnit, hvor store arealer stadig var dækket af dødis. Fra knap 30.000 år siden til ca. 17.000 år var den nordlige del af landet periodevis dækket først af Kattegat Isstrømmen, så NØ-isen og til slut af de Ungbaltiske nedisninger, hvor den Østjyske Isstrøm blev efterfulgt af Bælthav Isstrømmen. Senglacialtid, som afslutter sidste istid, var præget af dødisdækkets nedsmeltning, indvandring af en kuldekrævende flora og fauna og hurtig regression i form af isostatisk styret fald i det arktiske Yoldia-havs niveau omkring Kattegat. Begyndelsen af Holocæn for 11.700 år siden kendetegnes ved tempereret klima og skovens indvandring. Det lave havspejl blev efterhånden afløst af stigende vandstand i Nordsøen og Kattegat. Under den Atlantiske transgression nåede havet sit højeste

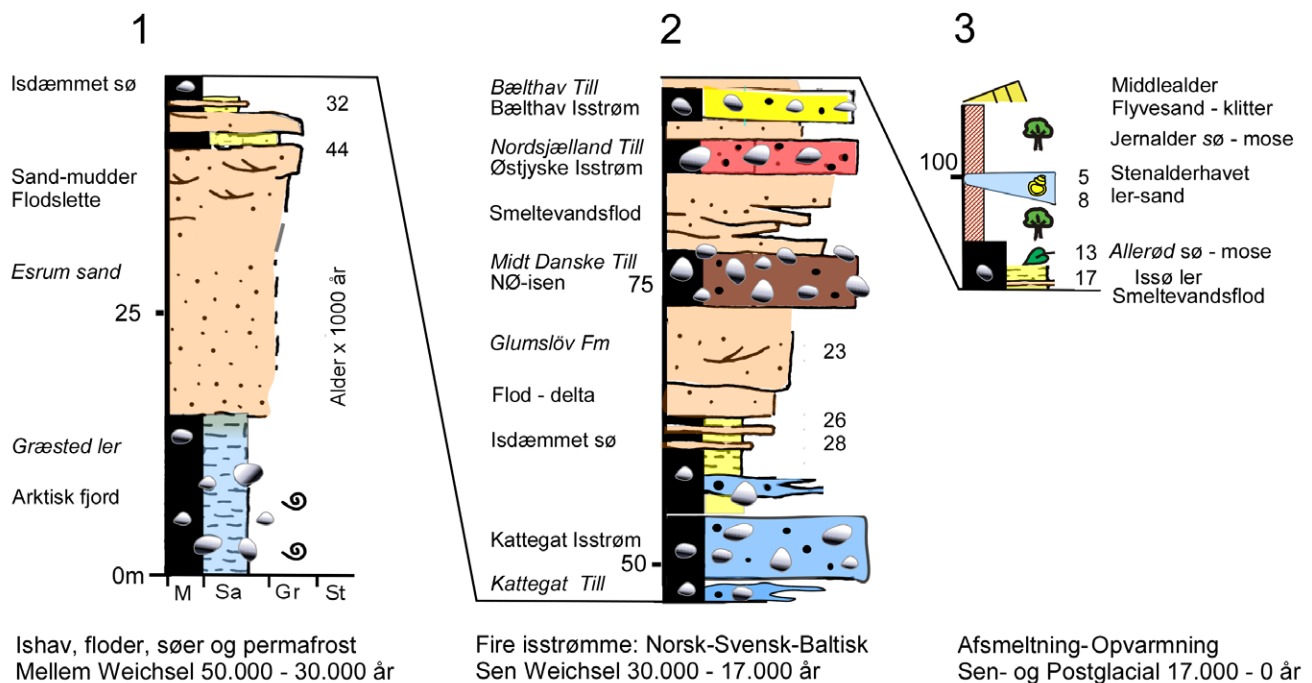


Fig. 3. Sammensat lagfølgediagram for de yngre kvartære aflejringer i NØ-Sjælland. Efter Houmark-Nielsen (1999, 2003, 2023b).



niveau efter istiden, da Stenalderhavet også kaldet Littorinahavet trængte frem gennem Bælterne og ind i vores indre farvande og Østersøen. Jernalder, Middelalder og Nyere tid er præget af landhævning, kystudligning, sandflugt og menneskets stadig mere dominerende rolle i landskabsudviklingen.

## NØ-Sjælland fra istid til nutid

Tyngdepunktet i denne artikel er en redegørelse for de begivenheder i den geologiske historie, der har haft stor betydning for landskabernes udvikling i tidsrummet fra den yngste del af sidste istid til i dag,

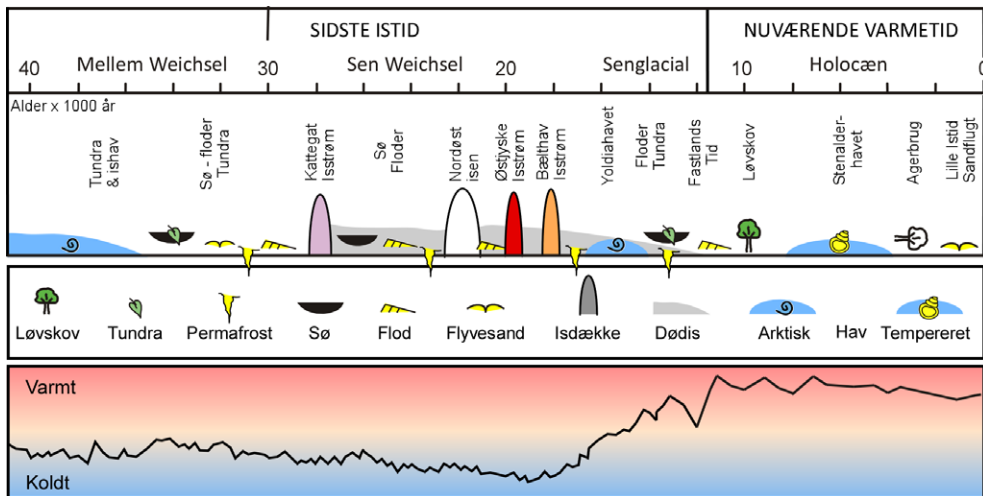


Fig. 4. Tidslinje over geologiske begivenheder i Nordøstsjælland spejlet mod variationen af temperaturen på Indlandsisen de seneste 40.000 år beregnet fra de grønlandske iskerner. Efter Houmark-Nielsen (2021b, 2023b).

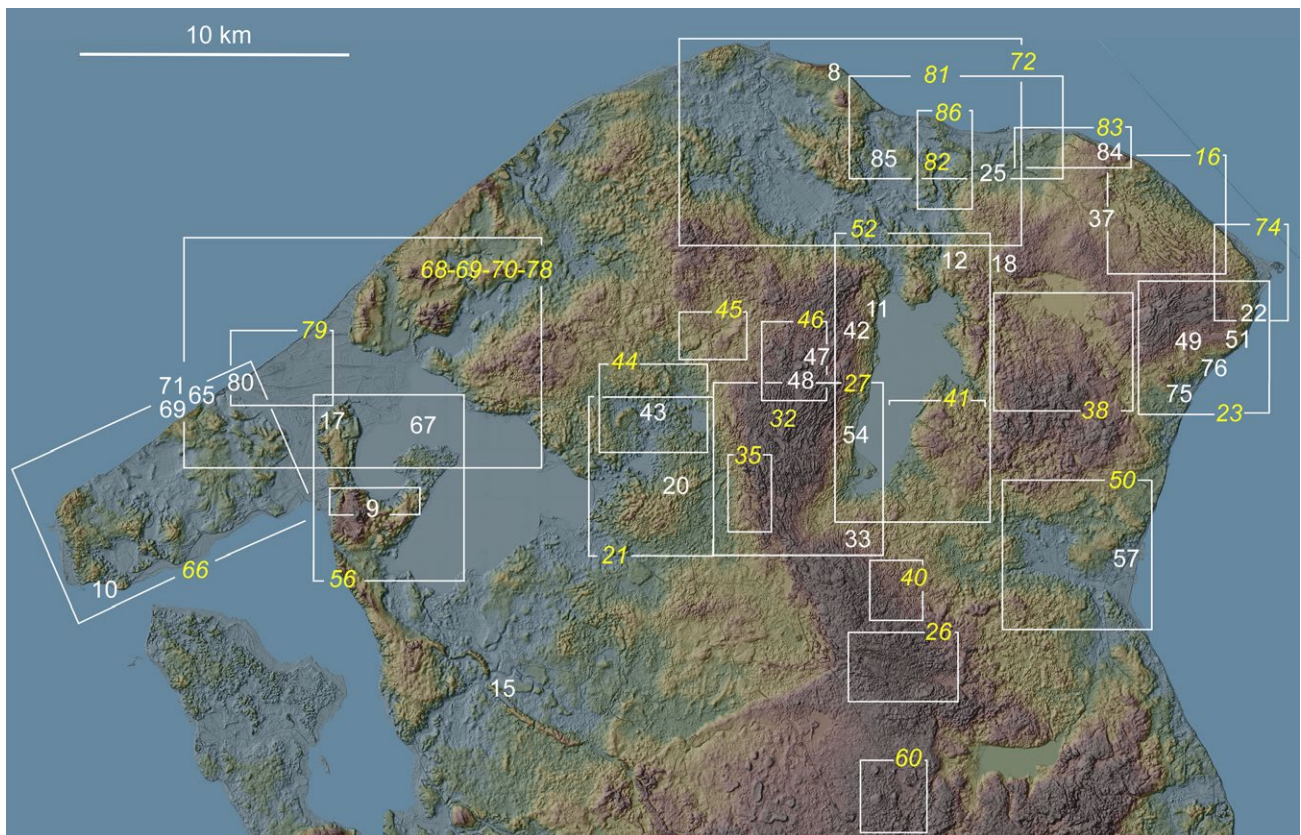


Fig. 5. Lokalisering af figurer. Kort: indrammet og med gule tal i kursiv; andre figurer: hvide tal.

nemlig de store nedisninger fra Sen Weichsel og eftervirkningerne heraf i Holocæn. Det Skandinaviske Isskjolds afgørende indflydelse på udformningen af det danske istidslandskab kan kun forstås gennem studier af gletsjeres virke i nuværende nedisede områder. Allehånde glaciale processer, der især knytter sig til fladlandsgletsjere, er blevet beskrevet og katalogiseret og hver for sig gjort ansvarlig for særlige terrænformers opståen og udseende, og disse er atter koblet sammen i et hierarki af glaciale og periglaciale landskabssystemer (Krüger 1994; Bennet & Glasser 2009, Evans & Evans 2022). Imidlertid er terrænets gradvise omformning i forbindelse med ét og samme isdækkes fremrykning, overskridelse og efterfølgende afsmeltning sjældent beskrevet og forstået. Det har også vist sig vanskeligt at definere de enkelte landskabsformer, hvor det samme isdækkes terrænformer af flere omgange har været udsat for overlejring og nedbrydning i forbindelse med fornyet fremrykning og stagnation; resultatet heraf er især tydeliggjort gennem studier af landskabsformer skabt af isstrømme, der har afløst hinanden hen over samme område (Stokes & Clark 1999, 2002).

Beskrivelsen af udvalgte terrænformer ledsages af nytegnede landskabskort, der knytter sig til nedisningerne i Sen Weichsel og den efterfølgende afsmeltning. Hertil kommer i Holocæn, Stenalderhavets transgression og den efterfølgende kystudvikling samt sandflugten under den lille istid. I teksten henvises løbende til figurer, der viser forholdene på de omtalte lokaliteter i form af feltskitser, fotos, kortudsnit m.m., og som for at lette lokalisering, er angivet på kortet Fig. 5.

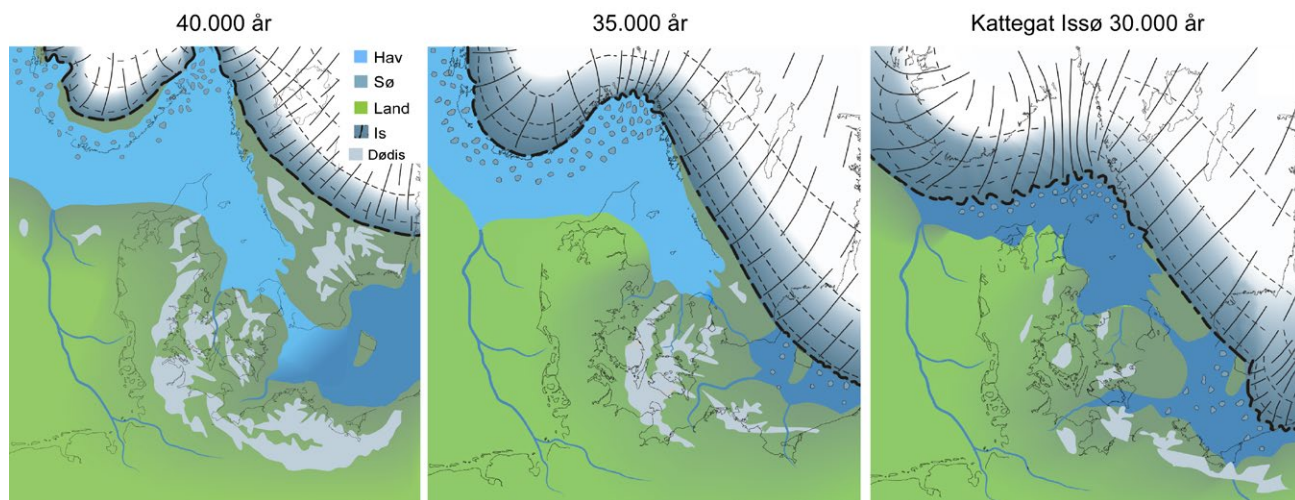
## Mellem Weichsel 74.000–30.000 år

Mellem Weichsel er en sammensat periode omfattende en tidlig nedisning, der dækkede det meste af Danmark, og som blev efterfulgt af et isfri og forholdsvis lunt tidsafsnit. Den sene del af Mellem Weichsel markerer afslutningen på denne interstadiale periode, der alt i alt havde været omkring 25.000 år (Fig. 4).

Arktiske fjorde, store søer og landområder med permafrost dækket af en træløs tundralignende busk og hede-vegetation var udbredt i det sydsandinaviske område, hvor store pattedyr som mammut, moskusokse og rensdyr kunne trives (Aaris-Sørensen 2016). En arktisk havarm strakte sig ned gennem Kattegat og nåede lejlighedsvis gennem Øresund (Fig. 6). I perioden mellem ca. 40.000 og 30.000 år siden faldt havniveau gradvist samtidig med, at det Skandinaviske Isskjold tiltog i volumen og udbredelse, hvorved det langsomt bredte sig ned mod det danske område. Mod slutningen af perioden lukkede en isstrøm i Norske Rende for havets tilgang til Kattegatlavningen, der blev omdannet til en større ferskvandssø med stort smeltevandinput kaldet Kattegat Issøen.

### Nordøstsjælland dybe lagfølge – landskabets fundament

De ældste formationer i den stratigrafiske model (Fig. 3) omfatter en godt 50 meter tyk lagfølge bedst kendt fra borer og kun sjældent set i kystklinter eller råstofgrave. Lagfølgen indledes af sandet marint mudder med spredte sten indeholdende en sparsom arktisk skalfauna (Græsted-ler: Konradi 1992), som



**Fig. 6.** Sydsandinavien i Mellem Weichsel for 40.000 til 30.000 år siden. Rekonstruktion af fordelingen af land, hav og gletsjers. Efter Houmark-Nielsen (2021).



blev afsat i Esrumdalen og dens nære omgivelser, der dengang udgjorde det indre af en fjordarm med forbindelse til det 'Eldre' Yoldia-hav i Kattegat også kaldet Skærumhedehavet. De marine lag overlejres af Esrumsandet (Schuldt 1981), der består af en vekslen mellem sand og gruslag afsat på en flodslette og som sine steder træder frem som opskudte og foldede skiver langs Nordøstsjællandss Kattegatkyst (Feddersen 2003). Formationen er dækket af mudder og sand afsat i den opdæmmende Kattegat Issø, der opstod foran den fremadskridende 'Norske' isstrøm i Kattegat (Houmark-Nielsen 2003).

## Sen Weichsel 30.000–11.700 år

Afgørende tegn på stærk vækst og hastig udbredelse af det Skandinaviske Isskjold kom for omkring 30.000 år siden ved indgangen til den strengeste kuldeperiode under sidste istid (Houmark-Nielsen *et al.* 2017). Den store ferskvandssø i Kattegatlavningen blev efterhånden afsnøret af ismasser, hvorefter Kattegat Isstrømmen flød ud af Oslofjorden ned gennem Kattegatlavningen, hvor den til slut dækkede den nordlige del af landet for omkring 28.000 år siden (Fig. 7). Efter en isfri periode, hvor Kattegat Issøen atter opfyldte Kattegatsænk, havde isskjoldet for ca. 22.000 år siden denne gang under Hovedfremstødet bredt sig fra det mellemste og sydlige Sverige sig ind over Danmark, hvor isen under sin største udbredelse nåede Hovedopholdslinjen gennem Jylland. NØ-isens afsmeltningen efterlod store arealer med inaktiv is også kaldet død is, indtil tilbagesmeltningen for omkring 20.000 år siden blev afløst af de Ungbaltiske isstrømmes fremmarch fra Østersøen.

## Lagserie fra fire nedisninger – istidslandskabets hjørneste

Den stratigrafiske model (Fig. 3) afslører, at NØ-Sjælland i tidsrummet mellem 28.000 år siden og 17.000 år siden blev ramt af fire isoverskridelser adskilt af perioder med afsmeltning. Kystklinten ved Nakkehoved øst for Gilleleje er et af de få steder, hvor et typeprofil med aflejringer fra nedisningerne i Sen Weichsel som regel altid er åbent (Fig. 8). På den stenede strand ses et rigt varieret selskab af bjergartsstumper fra store dele af Sydsandinavien. Foruden vores lokale kalksten og flint, findes særligt Rombeporfyr og Larvikit fra Oslofjorden, Kinnediabas fra det mellemsvenske sø-lavland, granat-amfibolit fra Hallands kystegne, Höganäs- og Hardebergasandsten samt basalt fra Skåne, og i mindre omfang kalksten og porfyrer fra Østersøen. Denne brede vifte af sten viser, at isstrømme fra både Sydnorge, Mellemsverige, Skåne og Østersøen har efterladt aflejringer her.

Klintens indre indeholder tre formationer tilhørende de store nedisningers lagfølge (Fig. 3, 8). Nederst moræner fra Kattegat Isstrømmen (Kattegat Till Formationen), øverst moræner fra NØ-isen (Midt Danske Till Formation) og her imellem lagdelt mudder og sand afsat i Kattegat Issøen (Glumslöv Formationen). Kattegat Isstrømmens moræner, også kaldet 'Det blå blokførende ler' (Berthelsen 1974), indeholder en omlejret fauna af kalkskallet mikrop plankton og mollusker. Moræneleret blev benævnt Nordsjællands nedre moræner af Rørdam (1899), der regnede moræneleret for afsat af et norsk isfremstød grundet dets mange ledeblokke fra Oslo-området. Ovenover eller æltet sammen med det nederste moræner ses mudder med små sandlag og spredte sten, der er sunket ned i en mudret søbund under afsmeltningen af 'den

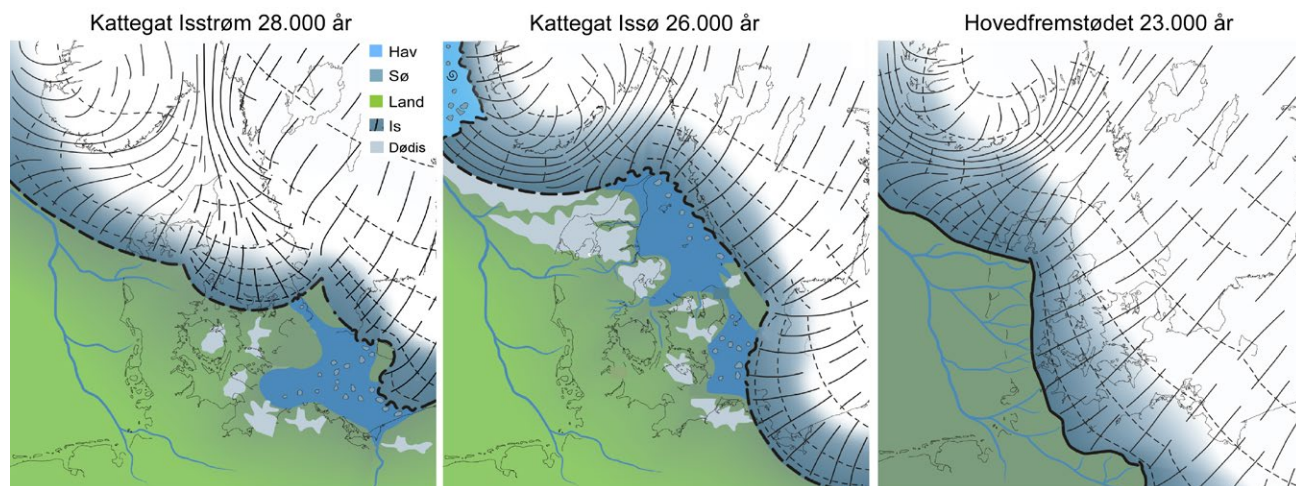


Fig. 7. Sydsandinavien i Sen Weichsel for 28.000 til 22.000 år siden. Rekonstruktion af fordelingen af land, hav og gletsjeris. Efter Houmark-Nielsen (2021).

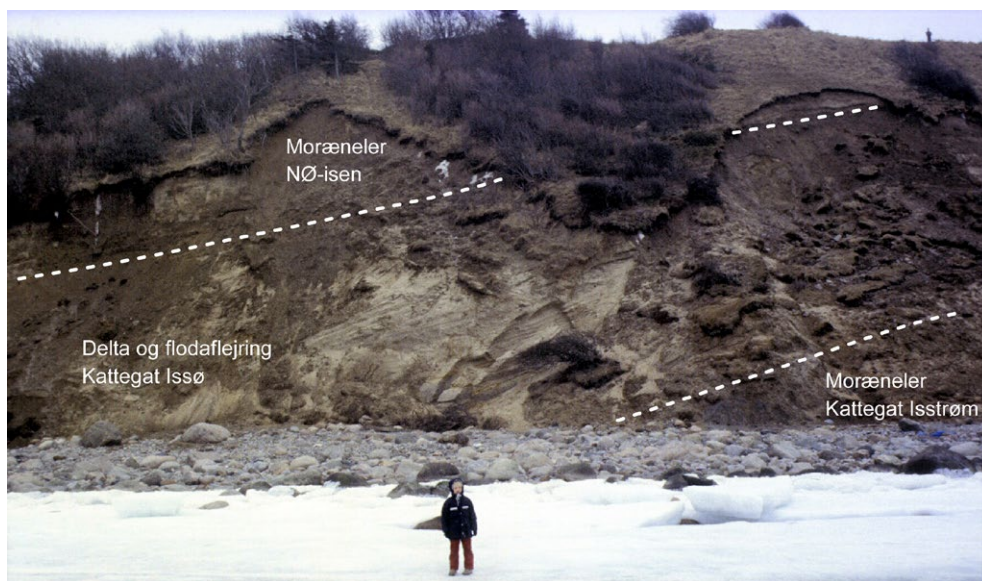


Fig. 8. Kystklinten ved Nakkehoved Fyr en vinterdag. Foto M. Houmark-Nielsen (1986).

norske is'. Søsedimenterne består af finkornede og lagdelte aflejringer i bunden, som opad bliver grovere og mere grusede samtidig med, at strømstrukturene tiltager i størrelse.

Kattegat Issøens aflejringer viser, at tilstrømning fra floder har ført sand og senere grus ud over søens mudrede bund, hvis aflejringer afskæres og dækkes af sandet moræneler afsat af NØ-isen. Øverst har grovklastisk smeltevandsgrus skåret sig ned i moræneleret. Hele lagpakken, der her hælder mod øst, er stablet sammen i flager (Gregersen 1986), og den rumlige opbygning viser, at her er tale om en gennemskåret randmoræne, der er dannet ved, at en gletsjers umiddelbare forland er presset sammen og brudt op i flager. I klinten ved Nakkehoved er der altså spor af tre isfremstød over NØ-Sjælland, nemlig først et fra Sydnorge – Kattegat Isstrømmen – dernæst et fra Mellemsverige – NØ-isen – og til slut et fra øst – den Østjyske Isstrøm, der stod for dannelsen af randmorænen. Hele dette israndskompleks er høvlet ned i de øvre dele som vidnesbyrd om, at en yngre isstrøm har overskredet området.

### Kattegat Isstrømmen

Kattegat Isstrømmen flød ud gennem Oslofjorden og nåede Nordøstsjælland og Vestsjælland for ca. 28.000 år siden. Hvor langt syd på denne isstrøm trængte ind over Sjælland er usikkert, men isstrømmen må have nået den nordlige del af Hornsherred, hvorfra der er beskrevet et 15 meter højt Gilbert-type delta afsat af smeltevandsfloder fra nord og med dominans af norske blokke i deltaets grovklastiske dele (Clemmensen & Houmark-Nielsen 1980).

Isstrømmen fra nord aflejrerede en fed kridtrig moræneler (Kattegat Till) også beskrevet som 'det blå

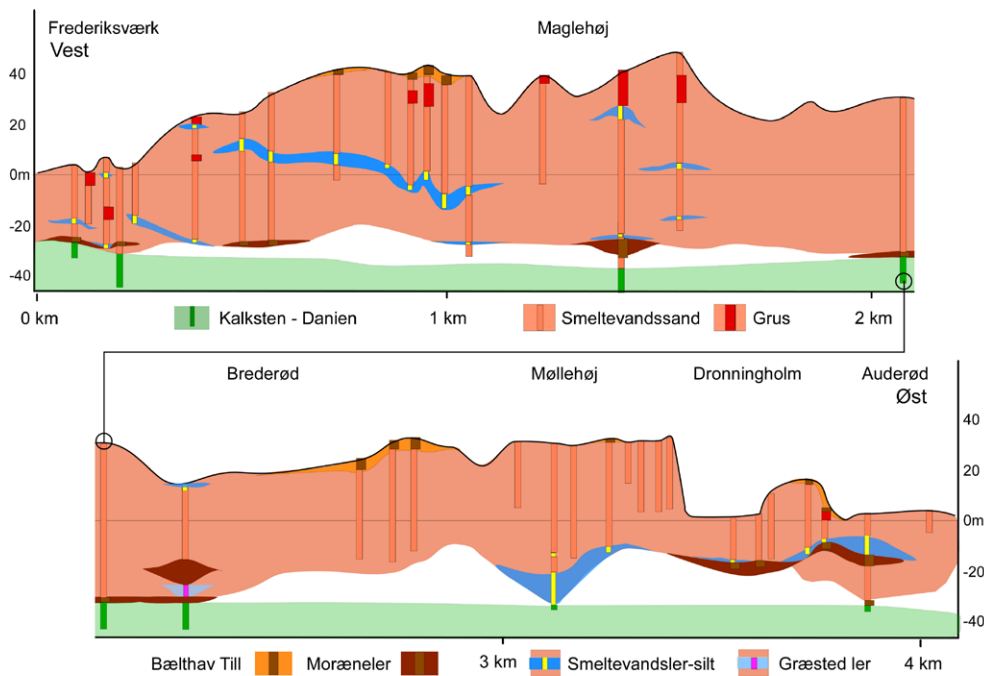
blokkførende ler' fra flere lokaliteter i NØ-Sjælland (Berthelsen 1974; Petersen & Konradi 1974). Moræneleret fører foruden norske ledeblokke et fortyndet indhold af Græsted-lerets omlejrrede skalfauna (Frederiksen 1982). Til Kattegat isstrømmens aflejringer hører også stenholdigt lagdelt mudder, der gradvist fortrænger moræneleret længere oppe i lagfølgen (Fig. 3). Søsedimenterne afløses af Glumslöv Formationens øvre sandede og grusede delta- og flodsedimenter med afløb bort fra den afsmeltende gletsjer.

### Et boreprofil fra Roskilde Fjord til Arresø

Dele af den dybe lagfølge samt Kattegat Isstrømmens sedimenter udgør det indre af de store bakkekomplekser, der skæres af Kattegatkysten og som ligger i en langstrakt bue, der strækker sig fra Kattegatkysten forbi Frederiksværk og videre sydover (Houmark-Nielsen 1987; Nielsen 1987; Feddersen 2003). Et boreprofil gennem bakkeryggen ved Arrenæs er vist som en lagkage-model, der afbilder forholdene i det plateaulignende bakkeparti mellem Frederiksværk og Arresø (Fig. 9). Boredata har ikke med sikkerhed kunnet afsløre eventuelle istektoniske forstyrrelser, ligesom studier fra grusgrave antyder en nogenlunde horisontal geometri. At hele det nord-syd gående og langstrakte bakkekompleks' overflade er furet i parallelle bakkekamme og dalsænkninger tyder imidlertid på, at istektoniske strukturer muligvis overpræger storformen og, at forstyrrelser i lagserien må forventes at optræde i bakkeryggens indre.

Modellen viser, at der oven på den næsten plane kalkoverflade ca. 30 meter under nuværende havniveau, findes en mægtig pakke af smeltevandssand og -grus adskilt af en horisont med vekslende lag af smeltevandsler og -silt. Den nedre sand- og grus-pakke hviler på moræneler og smeltevandsler inklusive





**Fig. 9.** Profil over Kregme-halvøen fra Frederiksværk til Auderød baseret på boredata (GEUS 2024a). Under moræneflade dækket af Bælthav Till findes den sandede Glumslöv Formation adskilt fra Esrumsandet af indslag af Kattegat Till og smeltevandssler. Dybere forekomster af moræneler, smeltevandssler og det glaciomarine Græsted ler udgør de ældste kvartære lag, som hviler direkte på undergrundens kalksten.

det glaciomarine Græsted-ler, hvilket antyder, at en del af bakkernes indre består af Esrum sandet. Mellemgulvet af smeltevandssler tilhører sandsynligvis Kattegat Isstrømmens moræne- og issesedimenter. Den overliggende pakke af sand og grus har haft sit kildeområde mod nord og vest og blev afsat af kanaliserede smeltevandsstrømme, der løb i flettede floder (Nielsen 1987). Iskilestrukturer i toppen af smeltevandssaflejringerne viser, at der efter ophør af smeltevandssstrømmene fandt en længere isfri periode med permafrost sted, inden Bælthav Isstrømmen invaderede området. NØ-isen og Østjyske Isstrøm synes ikke at have efterladt sedimenter i bakkerne, men sporene efter de to nedisninger skal sandsynligvis findes i områdets landskabsformer.

## NØ-isen

NØ-isen også kaldet Hovedfremstødet, der invaderede NØ-Sjælland fra det sydlige Sverige, har efterladt sig moræneler rig på stumper af det skandinaviske grundfjeld og sedimentære bjergarter fra det svenske sø-lavland og nordvestlige Skåne. Moræneleret (Midt Danske Till) er en del af den lagfølge, der indgår i istektonisk forstyrrede bakkedrag flere steder i regionen f.eks. Nakkehoved (Fig. 8).

Som en del af NØ-Sjællands topografiske rygrad strækker højtliggende og kuplede bakkepartier sig fra Kattegatkysten gennem Gribskov og Store Dyrehave og videre mod sydøst (Fig. 1). Bag denne regionale højderyg findes markante lavninger i terrænet som f.eks. Søborg Sø, Esrum Sø og Sjælsø. Denne kobling

mellem bakker og søfyldte lavninger afspejler sandsynligvis tilstedeværelsen af et større israndskompleks bestående af randmoræner og inderlavninger. Bortset fra, at Gribskovbakkernes volumen kunne passe nogenlunde til den øst for liggende lavning i Esrum Sø, har det tidligere været yderst sparsomt med data, der kan støtte den antagelse, at højderyggen er en ægte sammenpresset moræne – en pushmoræne. Ligeledes har alderen af højderyggen været uklar, selvom bakkedraget antageligvis har været knyttet til NØ-isens tilbagesmeltning (Houmark-Nielsen 1987).

## NØ-Sjællands ældre israndsbakker

I klinten ved Nakkehoved er moræneler afsat af NØ-isen og overliggende smeltevandssdannelser deformeret fra østlige retninger, og sammen med ældre istidsdannelser indgår lagfølgen som store flager i en overskredet og udglattet randmoræne. Det samme gælder for grusgravene nord for Esrum Sø og klinterne på Halsnæs. I NØ-Sjælland er det klarlagt, at NØ-isen blev afløst af gletsjeris fra øst, og at denne is har udgjort den højre flanke af den Østjyske Isstrøm (Houmark-Nielsen 1981, 1987). Men når det gælder de morænelerdækkede, omtrent nordvest-sydøst liggende bakkestrøg, der findes i hele regionen, melder usikkerheden sig om, hvilket af de to isfremstød der er ansvarlig for disse ældre randmoræners oprindelse.

På Halsnæs er spor fra de fire nedisninger i Sen Weichsel beskrevet fra kystklinerne yderst på Halsnæs ved Hundested og Store Karlsminde. Moræneler, smeltevandssaflejringer og ikke mindst istektoniske strukturer er tilskrevet NØ-isen, men med en alterna-

tiv tolkning synes Øst-isen at være den, der har givet ophav til udformningen af de ældre randmoræner. For foden af Store Karlsminde Klint øst for Lynæs findes strandsten, der stammer fra flere områder i Skandinavien, udvasket af lagene i klinten. Optælling af stentyper her viser en nogenlunde ligelig fordeling af sten og blokke fra Osloområdet, Dalarna og farvandet omkring Ålandsøerne (Milthers 1942). Hertil kommer sten fra Småland og Skåne. Det betyder, at der i klinten må findes aflejringer fra isstrømme, der havde deres opmarchområder forskellige steder i Skandinavien, nemlig Sydnorge, Mellemsverige og Østersøen og som passerede Kattegat og Sydsverige på vej mod Danmark. Klinten, som i dag er næsten helt sammenstyrtet og tilgroet, er kompliceret opbygget ved at have været foldet og overskudt af gletsjere to gange under den sidste istid (Jensen 1977). Et skematisk blokdiagram viser klintens geometri og lagmæssige opbygning (Fig. 10).

Ældst er finkornede flod- og søsedimenter, der formodentlig tilhører de øvre dele af Esrumsandet (aflejrung 1). Disse afløses gradvist af moræneler (af-

lejrung 2), der har et karakteristisk indhold af sten fra Osloområdet og en knust og opblandet arktisk marin skalfauna, magen til den fra Skærumhedehavets aflejringer i Kattegat og Græsted-leret fra de dybere dele af NØ-Sjælland. Her er tale om Kattegat Isstrømmens moræneler, der sammen med de underliggende aflejringer nærmest er klappet sammen i en stor liggende fold med bevægelsesretning omtrent fra nord mod syd. Det er foreslået, at denne foldning skyldes et genfremstød af Kattegat Isstrømmen ind over området. Oven på de foldede lag ligger en mere end 10 meter tyk lagpakke domineret af sandede sedimenter (Glumslöv Formationen, aflejrung 3). Mudder blev først afsat i et sø-bassin, der gradvist blev udfyldt af et sandet delta, som til tider afløstes af grus afsat i floder, der førte smeltevand fra sydlige og østlige retninger ud mod Kattegatlavningen (Feddersen 2003). Deltasedimenterne overlejres af moræneler (aflejrung 4), der sammen med de øvrige af klintens aflejringer er foldet og klippet op i flager af et isfremstød fra øst. Glideplanet mellem to flager skærer både aflejrung 1, 2 og 3, og selve overskydningsprocessen har medført

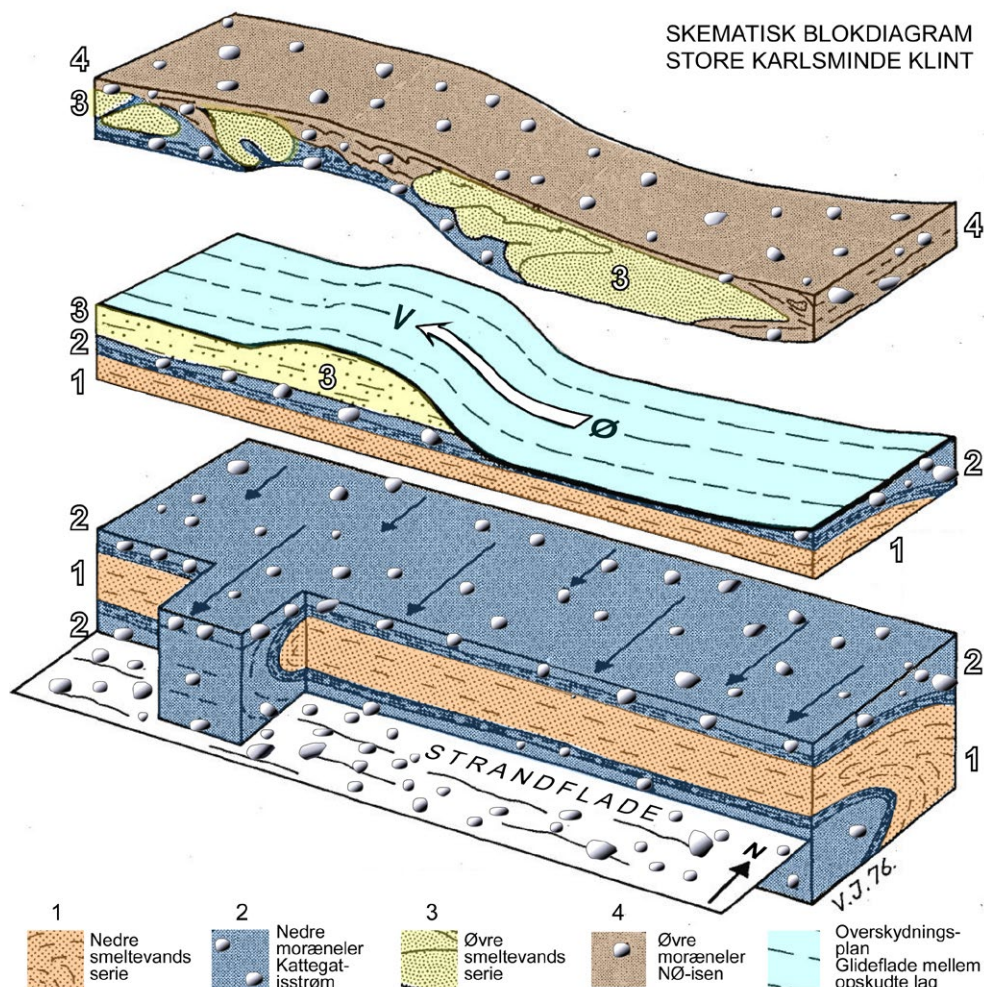


Fig. 10. Blokdiagram der viser den indre opbygning af Store Karlsminde Klint ved Lynæs. Numrene 1 til 4 henviser til aflejringer i klinten. Efter Jensen (1977).



intens foldning af lag 3 og 4. Den foldede del af det øvre moræneler tilhører sandsynligvis NØ-isen, mens den ikke-deformerede del kunne være afsat af den østfra kommende is.

Klinten under Spodsbjerg ved Hundested viser stort set den samme lagfølge og istektoniske kronologi som de øvrige klinger på Halsnæs (Sjørring 1973, 1974). Også her er moræneler afsat af NØ-isen, de underliggende smeltevandsaflejringer samt moræneler afsat af Kattegat Isstrømmen foldet og overskudt fra øst. Det ses ligesom ved Lynæs, at klintens yngste istektoniske stokværk viser deformation fra øst efter NØ-isens bortsmelten, og da de nord-syd gående strukturer samtidig flugter med retningen af de dominerende bakkerygge på det yderste Halsnæs, må der her være tale om opskudte israndsbakker tilhørende isen fra øst, nemlig den Østjyske Isstrøm (Houmark-Nielsen 1981).

### Gribskovbakkernes indre opbygning

Bakkernes overfladenære topografi med foretrukken nord-syd orientering har været tolket som randmoræner (Milthers 1935; Hansen 1981), hvorimod den indre arkitektur indtil for nylig har været uoplyst. Imidlertid har seismiske undersøgelser langs Esrum søs nordvestlige bred for første gang givet indblik i dele af Gribskovbakkernes opbygning (Windsløv *et al.* 2020). Et 2 km langt udsnit af det i alt ca. 6 km lange seismiske profil udlagt langs søbredden er vist i Fig. 11.

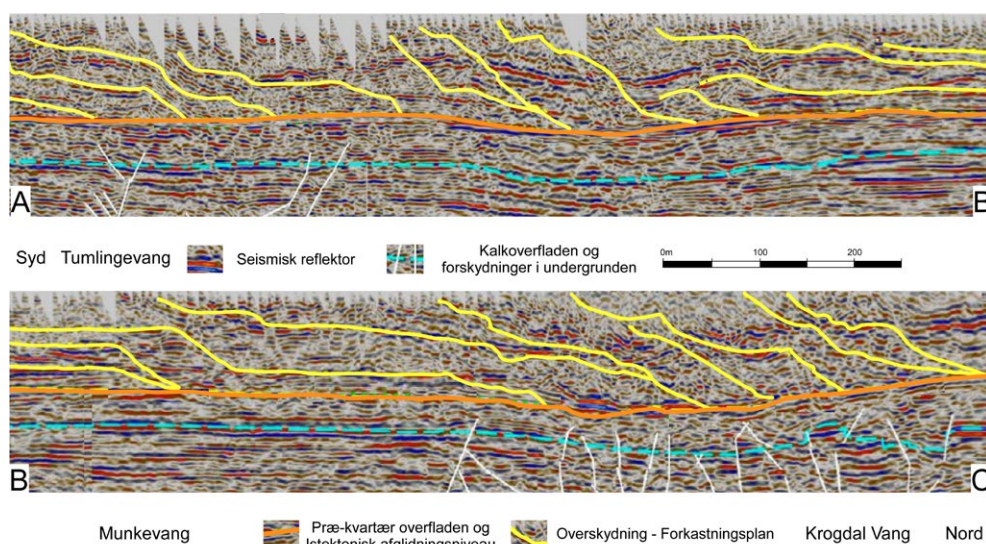
Profilen viser en lang række løsrevne sedimentskiver, der fra nordlige og nordøstlige retninger er skudt ind over hinanden. To episoder med glacialtektonisk deformation har udløst décollement, ét i dybder på ca. 100 meter under terrænen og et yngre i 50 meters dybde. Formen af de løsrevne sedimentskiver optegnet i profilet er lettere forvredet i sydgående retning

i forhold til skivernes sande forskydning, ligesom hældningen er underdrevet, fordi profilet ikke er konstrueret vinkelret på skivernes strygning. Den yngste deformationsfase er formodentlig sket i forbindelse med isoverskridelse fra nordøst, mens den ældre formodes at være fra nordlige retninger, og det foreslås, at den ældre fase knytter sig til Kattegat Isstrømmen, mens den yngre tilskrives NØ-isen. Det vides ikke med sikkerhed, hvilke af de kvartære lag fra den stratigrafiske model (Fig. 3) som er ophav til de to niveauer, hvor afglidning er sket, men de finkornede formationer som Græsted-ler og Kattegat Till inklusiv de overliggende issø-sedimenter kunne være oplagte kandidater (Houmark-Nielsen 2023b). Ved sammenligning med forholdene i klinten ved Nakkehoved, hvor afglidning formodentlig er sket ved basis af Kattegat Till og stabling af flager i et israndskompleks fandt sted efter afsmeltning af NØ-isen (Houmark-Nielsen 2019), er den Østjyske Isstrøm stærkt i spil som den gletsjer, der forårsagede dannelse af Gribskovs yngre istektoniske fase.

Selvom kun en lille del af Gribskov bakkernes indre er undersøgt, viser de allerede indvundne seismiske data, at NØ-Sjællands centrale bakkekompleks kan måle sig både i størrelse og istektoniske arkitektur med de mest prominente af vores 'dislocerede klinger'. Et spørgsmål rejser sig imidlertid; nemlig hvordan geometrien af lavningen, hvori Esrum Sø ligger, forholder sig til formen og volumen af den istektonisk opstabilede sedimentpakke, der engang måtte have befundet sig i søbassinet.

### Israndsbakkerne nord for Esrum Sø

En ældre isstrøm har under sin afsmeltning i landet mellem Esrum Sø og Nordkysten efterladt flere bæltter af kuplede og lave randmoræner adskilt af brede



**Fig. 11.** Uddrag af seismisk profil fra den nordlige del af Gribskov langs bredden af Esrum Sø. Målestok er ens for både højde og længde. De kvartære lag over afglidningsniveau er klippet i flager hældende mod nord og øst. Efter Windsløv *et al.* (2020).

dale. Der findes kun få permanente snit gennem disse israndsstrøg, ét ses i kystklinten ved Nakke Hoved (Fig. 8), men også inde i landet sydfor findes fra tid til anden dybere råstofgrave i landskabet, hvor det indre af landskabet kan iagttages. Det gælder f.eks. grusgravene omkring Dragstrup og Plejelt, hvor dele af lagfølgen fra Nakkehoved er foldet og stablet sammen fra nordøstlige retninger i store flager og løsrevne skiver, for senere at være overskredet af endnu en isstrøm (Berthelsen 1974; Rasmussen 1974). Detaljer af disse istektoniske strukturer i sedimenterne i Plejelt Grusgrav viser, at der internt i de opskudte skiver findes intenst sammenfoldede sand og gruslag, der er opstået som følge af de store sedimentflagers bevægelse ind over hinanden (Fig. 12A, B).

I grusgravene nord for Esrum Sø dækkes isrands-



**Fig. 12A.** Smeltevandssand og grus foldet fra nordøst (højre) og dækket af moræneler, der er skudt ind over de foldede sandlag. Profilet er ca. 4 m højt. Foto M. Houmark-Nielsen (2009).



**Fig. 12B.** Smeltevandssand og grus tæt foldet og skubbet sammen fra nordøst (højre) og overlejret af moræneler fra Bælthav Isstrømmen. Foto M. Houmark-Nielsen (2009).

bakkernes store foldestrukturer af moræneler, der blot et sted ses at være afsat af en is fra øst (Rasmussen 1974). Dette kunne tale for, at bakkerne er dannet under NØ-isens afsmeltning eller den Østjyske Isstrøms fremrykning. Men selvom det ikke har været muligt med sikkerhed at fastsætte de ældre randmoræners tilhørsforhold til den Østjyske isstrøm tilbagesmeltning, gemmer de udglattede bakkestrøg sig alle sig under den regionale moræneflade afsat af den yngste isstrøm, nemlig Bælthav Isstrømmen.

## Isstrømme fra Østersøen

Med NØ-isens afsmeltning trængte det arktiske Yngre Yoldia-hav fra Norske Rende ind i Skagerrak og efterhånden længere sydpå i Kattegat langs isskjoldets rand, der trin for trin nærmede sig den svenske vestkyst (Fig. 13). Tre faser med isdækker, der markerer afslutningen på sidste istids nedisninger, havde deres udspring i Østersølavningen og dækkede den østlige del af landet i perioden for mellem ca. 20.000 år og 16.000 år siden. I første omgang nåede den Østjyske Isstrøm fra øst via Skåne frem til Østjyllands kystegne. Denne isstrøm efterlod ligeledes dødis over Nordøstsjælland, men afløstes af fornyet udstømning af gletsjeris i form af Bælthav Isstrømmen for ca. 18.000 år siden denne gang gennem den sydlige del af Østersøen. Disse ungbaltiske nedisninger over NØ-Sjælland afsluttedes med Øresundsgletsjeren, der fra syd skød op gennem Sundet til området mellem Helsingør og Helsingborg.

Mens gletsjerne strømmede ind over Nordøstsjælland fra stadigt mere sydlige retninger, blev de tyndere og deres udbredelse indskrænket og i højere grad styret af underlagets topografi og beskaffenhed. Samtidig hermed efterlod gletsjerne under tilbagesmeltningen langstrakte zoner med israndsdannelser, hvor imellem store arealer var dækket af dødis, der først smeltede helt bort i begyndelsen af Postglacialtid.

## Østjyske Isstrøm

Den Østjyske Isstrøm har i NØ-Sjælland aflejret smeltevandssedimenter og moræneler (Nordsjælland Till) med tilhørende isdynamiske og tektoniske strukturer, der viser strømning i isskjoldet fra østlige retninger (Houmark-Nielsen 1987). Moræneleret er udbredt i regionens vestlige del, mens forekomst øst for Arresø kun er omtalt sporadisk (Rasmussen 1974; Richardt 1992). Ud over det skandinaviske grundfjeldsområde er stenindholdet præget af bjergartsstumper fra det nordlige og mellemste Skåne.



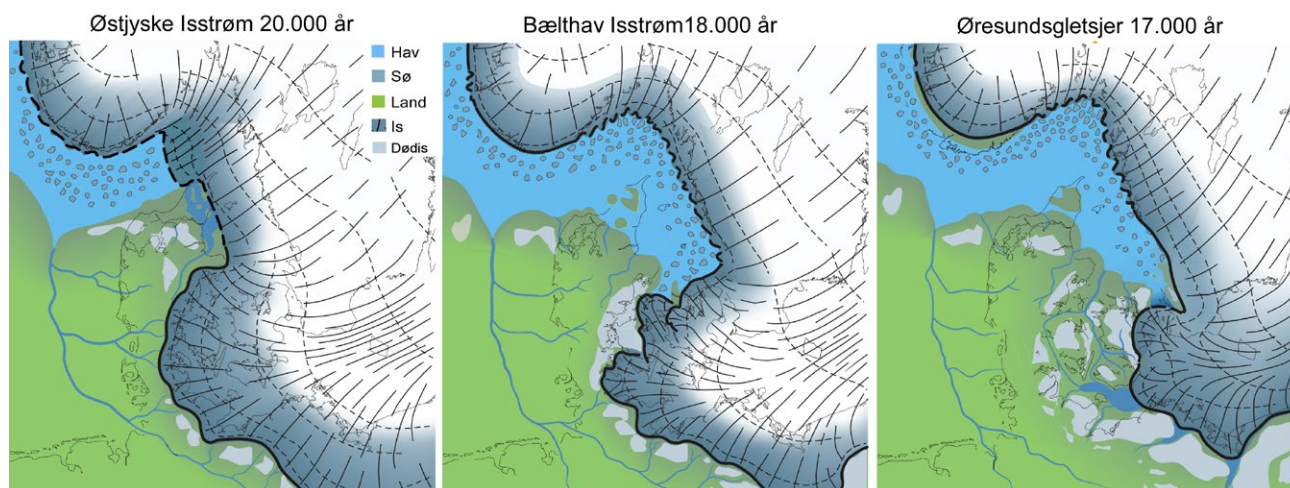


Fig. 13. Sydsandinavien i Sen Weichsel for 20.000 til 16.000 år siden. Rekonstruktion af fordelingen af land, hav og gletsjeris. Efter Houmark-Nielsen (2021).

### Randmorænestrøg

I det nuværende landskab tegner sig et billede, hvor flere bælter af morænedækkede randmoræner løber gennem NØ-Sjælland, og hvis interne strukturer viser istektonisk sammenstabling fra østlige og nordøstlige retninger (Fig. 14). Det gælder det vestlige Halsnæs, bakkerne syd for Frederiksværk over Arrenakke med forlængelse til Rågeleje. Centralt i regionen ligger et randmorænestrøg øst for Arresø løbende gennem det sydlige Gribskov og Store Dyrehave til Sjælsø. Nordøst herfor ligger randbakkerne i et bælte fra Nakkehoved forbi Plejelt og Esum Sø mod Nivåbugten, mens de yngste slynger sig buetformet gennem Teglstrup Hegn og Helsingørområdet. Udbredelsen af disse randmorænestrøg viser resultatet af et forløb, hvor en isstrøms randområde under den generelle tilbagesmeltning foretog ophold eller mindre fremrykninger. Herved opstod store til dels buetformede bakkerækker ved sammenstabling af sedimentskiver foran isranden.

Mellem disse ophold i tilbagesmeltningen blev randnære dele af isstrømmen afsnøret, hvorved store arealer mellem israndsbakkerne blev efterladt fyldt af dødis. Smeltevandfloder, der løb gennem dødisen, har givet ophav til dannelsen af flere smalle og langstrakte ås-bakker f.eks. Strø-åsen. Selvom det vides, at denne ås er ældre end Bælthav nedisningen, kan det diskuteres, hvorvidt den er afsat i NØ-isens eller den Østjyske Isstrøms dødis. Hvis de ældre randmoræner er udformet i forbindelse med afsmeltning af samme isstrøm, som er ansvarlig for dannelsen af Strø-åsen, kunne langt størstedelen af de ældre randmoræner være opstået i forbindelse med Østjyske Isstrøms afsmeltning. Havde det været afsmeltningsmoræner fra NØ-isen, skulle landskabsformerne have overlevet invasion af to isstrømme, hvilket sandsynligvis ville have sat sig flere synlige spor. Med den nuværende viden er det stadig et åbent spørgsmål, hvilken isstrøm

der er ansvarlig for dannelsen af de ældre randmoræner, imidlertid er de her alle sammen, som det mest sandsynlige, sat i forbindelse med den Østjyske Isstrøms tilbagesmeltning.

### Åsen ved Strø Bjerge

Syd for Arresø afsatte smeltevandets grus og sand i et stort isdæmet flodløb, der i dag fremstår som den 15–20 meter høje og mere end 10 km lange ås kaldet Strø Bjerge. Mens vandføringen var høj, blev åsens aflejringer formodentlig afsat i en eller flere tunneler ved basis af isen, men da isen gik i stå, opstod åbne flodløb, hvor aflejring af grus og sand kunne finde sted. Under lavere vandføring blev deltaiske sedimenter aflejret nær indløbene til en række isdæmmede søer, mens mudder og varvigt ler kunne udfældes i søerne under rolige forhold (Sjørring 1973; Brandt 1992). Efter aflejring, men stadig beskyttet af dødis, blev åsens aflejringer foldet fra sydlige retninger og overlejret af Bælthav Isstrømmens moræneler (Fig. 15)

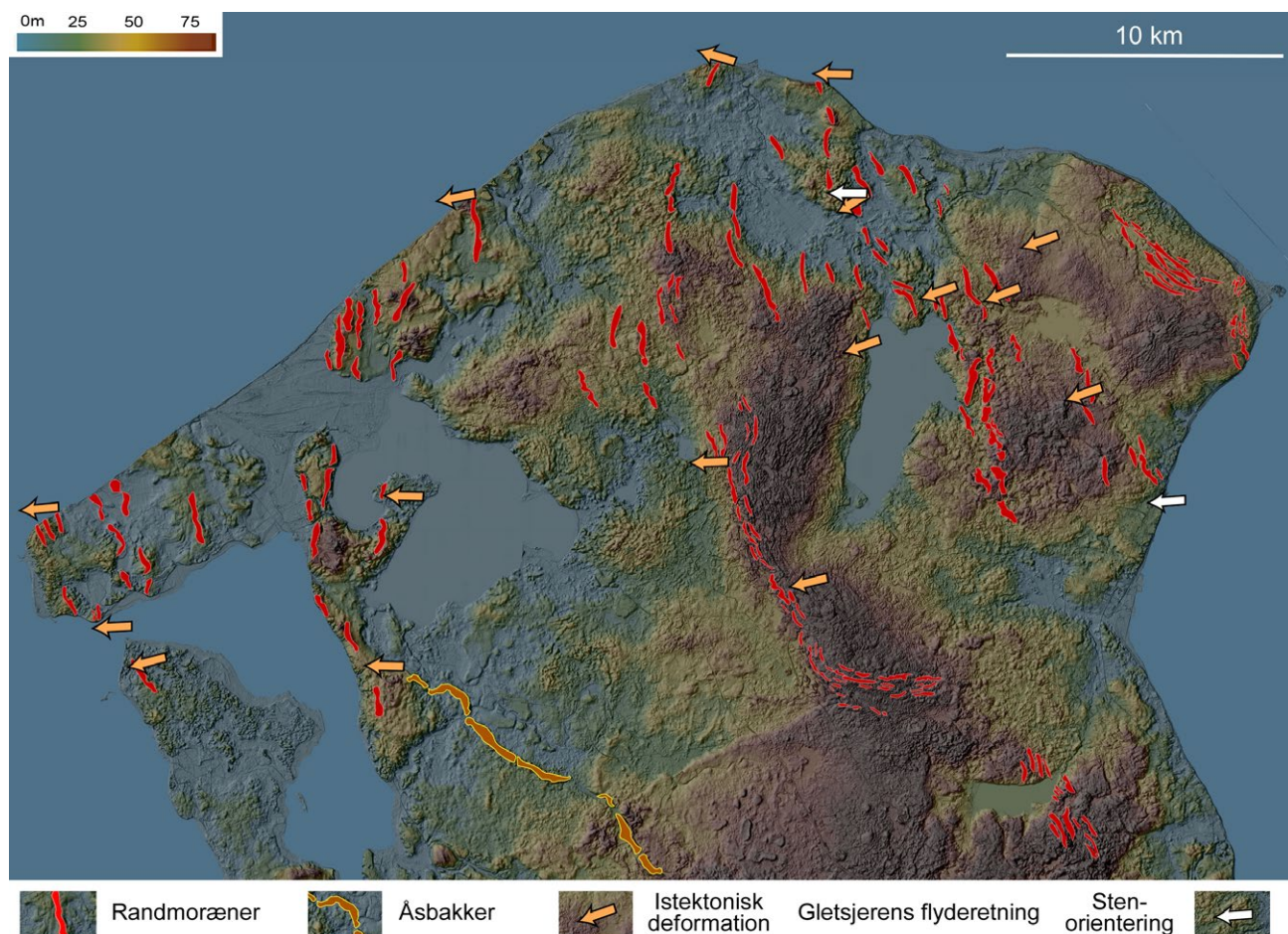
### Israndsbakker klemte i dødismasser

De mange og lave parallelt liggende småbakker adskilt af søfyldte lavninger, der findes i Teglstrup Hegn vest for Helsingør (Fig. 16), tilhører efter alt at dømme den Østjyske Isstrøms yngste randdannelser i NØ-Sjælland. Det særprægede parallelbakkede landskab gemmer sig under dække af Bælthav Isstrømmens moræneflade, der falder jævnt fra ca. 40 meters højde til knap 20 meter ud mod Øresundskysten. Fladen, hvorpå der er afsat flere issøbakker og den østligste del af Horneby Ås stikker frem, ligger i vest som et ubrudt dække frem til Nygård og Holmene, men brydes af mose- og søfyldte lavninger i det stærkt kuperede terræn i Teglstrup Hegn og Hellebæk Kohave. Mellem lavningerne findes rækkevis af voldformede rygge liggende som åbne og let buede guirlander i omtrent

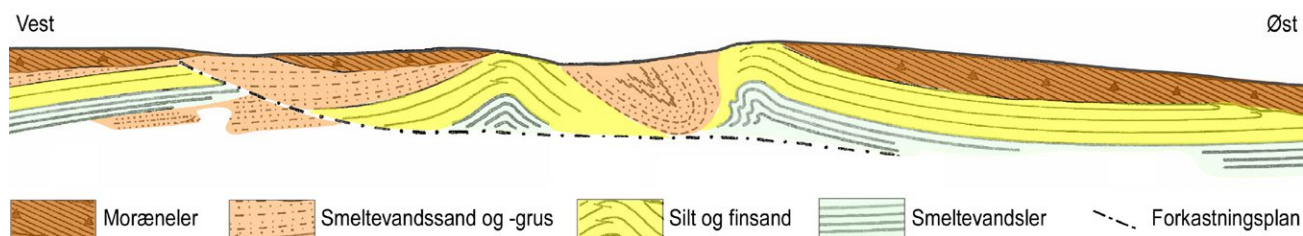
nordvest–sydøstlige retninger. Flere er adskillige kilometer lange; de fleste når 5–10 meter i højden, og de er mellem 100 og 200 meter brede med tilsvarende indbyrdes afstand. Ryggene har et forholdsvis bredt fundament, og mange er kronet af et par meter høje, smalle og spidse volde, nærmest formet som en tagryg, der i sydøst–nordvestlige retninger ofte skærer ryggenes buede former under en spids vinkel. Omkring Hammermølle Skov og Ny Hellebæk er bakkeryggene

langt kortere og synes belagt med mindre nordøst–sydvest liggende morænerygge. Fordelingen mellem bakkerygge og lavninger er også mere kaotisk her, og lavningerne synes afrundede eller uden den foretrukne orientering, som det ses længere inde i land.

Overfladens jordarter omkring Hellebæk Kohave og Teglstrup Hegn består for det meste af moræneler i nord og smeltevandssedimenter af grus, sand og ler i syd. Postglaciale ferskvandsaflejringer ligger i lavnin-



**Fig. 14.** Den Østjyske Isstrøms landskabsformer i NØ-Sjælland består først og fremmest af overskredne og morænelerdekede israndsdannelser. Istektoniske data fra Sjørring (1973, 1974) Berthelsen (1974), Rasmussen (1974), Jensen (1977), Gregersen (1986), Houmark-Nielsen (1987), Richardt (1992) og Windslov *et al.* (2020).



**Fig. 15.** Et ca. 100 m langt profil gennem Strø Ås ved Strølle. Åsens sedimenter ses foldet fra SSØ og overlejret af Bælthav Isstrømmens moræneler. Dele af åsens nordøstlige flanke er skredet ud i forlandet mod nordøst langs en forkastning. Efter Sjørring i Berthelsen *et al.* (1976).



ger mellem ryggene, her iblandt også i de talrige søer, hvoraf mange er opdæmmede tidligere mosestrøg. Hvor moræner og andre istidsdannelser er fundet nær jordoverfladen og formodes afsat af det yngste isdække (Milthers 1935), er den indre opbygning af de lange bakkerækker i Teglstrup Hegn ikke særligt godt kendt. Boringer i Kohavens bakkepartier viser visse steder et tyndt dække af moræner, hvorunder der flere steder stikker ældre aflejringer igennem (GEUS 2024a). Her gælder det forekomster af stor tykkelse (>

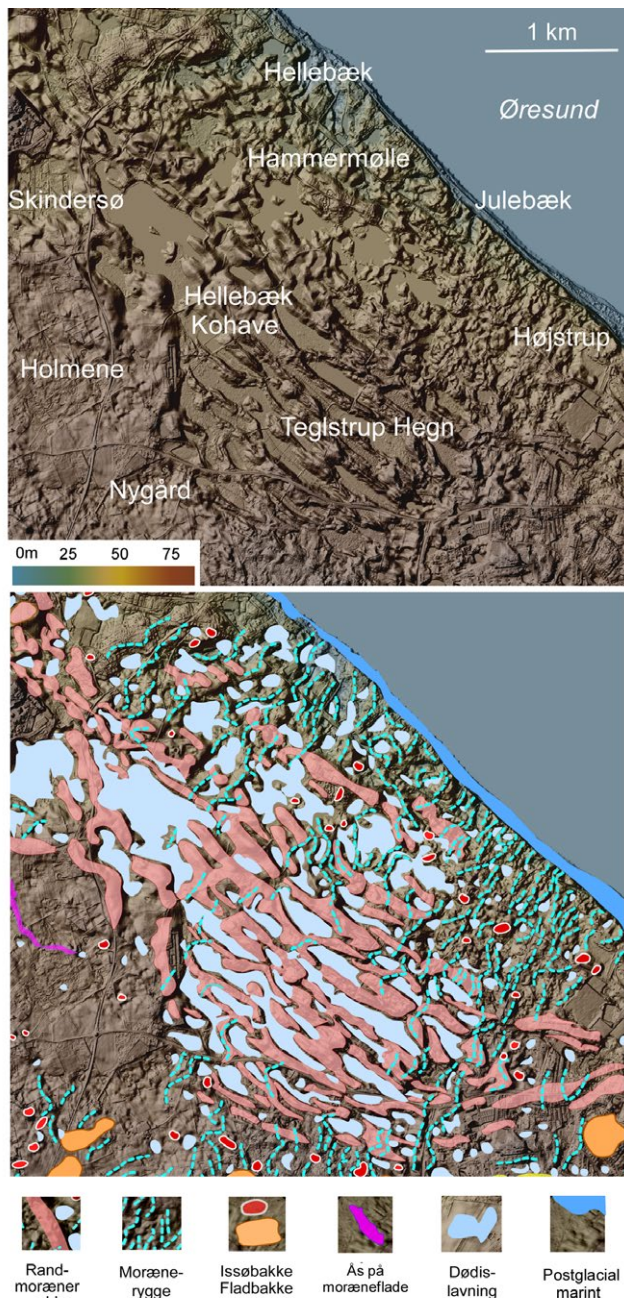


Fig. 16. Terræn og landskabsformer omkring Teglstrup Hegn vest for Helsingør.

20–30 meter) bestående af smeltevandssand og smeltevandssler inklusive brokkeler. Dette ler optræder som brokkede og kantede stumper af oprindeligt lagdelt smeltevandssler, og det er efter alt at dømme aflejret under en tidligere isstrøms afsmeltning (Rørdam 1899; Milthers 1935). Brokkeler findes flere steder i NØ-Sjælland bl.a. i jernbanegennemskæringen syd for Helsingør og i de dybe dele af klinten ved Nakkehoved, hvilket tyder på, at der også omkring Hellebæk kan være tale om aflejringer fra Kattegat Issøen.

Mens terrænet i syd har bevaret udseende af et næsten uspolet, bueformet israndsområde (Milthers 1935), er formerne tættere på kysten smeltet sammen med yngre terrænelementer til et nærmest netmønstret, dødispræget landskab. Teglstrup Hegns parallelt liggende bakker og lavninger er efter alt at dømme resultatet af sammenfoldning og opstabling fra nordøst af landskabet foran en gletsjer, som efter fremrykning er gået i stå og herefter udsat for passiv nedsmeltning. Det er højst sandsynligt, at de langstrakte bakkekamme er dannet ved opstabling fra nordøst af sedimentpakker bestående af forskellige istidsaflejringer vekslede med skiver af dødis, og at dette efter alt at dømme er foregået langs randen af den Østjyske Isstrøm under dennes afsmeltning. Længere bagved, altså nordøst for det sammenskubbede israndsområde, findes et landskab stærkt præget af nedsmeltende dødis. De smalle lavninger i Teglstrup Hegn, der i dag udfyldes af ferskvandsaflejringer, synes opstået dels, hvor dødisrester har været klemte inde mellem flager af istidsaflejringer dels, hvor gletsjeren bag isranden har efterladt dødisrester til senere nedsmeltning.

Det har været foreslået, at hele israndsområdet blev overskredet af en gletsjer fra nordøstlige retninger, som har haft sin rand liggende nogle kilometer længere sydpå langs Horneby Ås (Milthers 1935), men den opfattelse af åsen som værende en randmoræne er ikke længere gangbar, ligesom det i dag synes oplagt, at området blev overskredet af en isstrøm fra sydøstlige retninger efter dannelsen af randmorænerne. Dette støttes af, at mindre morænerygge afsat under Bælthav Isstrømmens afsmeltning overlejrer de ældre israndsdannelser under nærmest rette vinkler især i den nordlige del af området. Desuden kunne de smalle rygge, der rider på overfladen af israndsbakkerne i Teglstrup Hegn, være et resultat af drumlinisering dvs. strømning i forbindelse med aflejring af netop denne del af Bælthav Isstrømmens bundmoræne. At ikke også det omgivende bundmorænelandskab har fået påtrykt denne type terrænstribe, er uklart, men kunne skyldes tilstedeværelsen af dødis mellem randbakkerne. Under tilbagesmeltningen af Bælthav isen blev de små slyngende morænerygge, især omkring Hammermølle Skov og Ny Hellebæk, aflejret.



Denne form for rygge, som kendes fra det meste af Nordøstsjælland, er efter alt at dømme afsat langs en tilbagesmeltende isrand. Dødisen mellem de opskudte bakker må have overlevet invasion af Bælthav Isstrømmen, og da den endelig smeltede bort, begyndte den indsykning i Senglacialtid, der gjorde plads til de mange søbassiner. Samtidig kom de opstablede sedimentpakker mellem dødispartierne til at stå frem, som de bakkerygge vi kender fra dagens landskab.

## Bælthav Isstrømmen

Denne yngste isstrøm fra Sen Weichsel afløste den Østjyske nedisning for ca. 18.000 år siden og havde sit udspring i den sydlige del af Østersøen. Isstrømmen flød ind over NØ-Sjælland fra sydøstlige retninger og har efterladt sig bundmoræne (Fig. 17), hvorpå der ligger mindre morænerygge vekslende med randmoræner, og hvor det foranliggende land præges af smeltevandsdale, mens baglandet byder på tunneldale og åse.

Bælthav Isstrømmens moræneflade dækker de ældre landskaber som f.eks. Østjyske Isstrøms randmoræner og Strø-åsen, men den sløres selv bl.a. af Senglacialtidens dødislandskaber. I dag fremstår Strø Bjerge som en ås-bakke, fordi dens sedimenter efter alt at dømme må have ligget beskyttet i den Østjyske Isstrøms dødis, da Bælthav Isstrømmen overskred området.

Optællinger af gruspartikler, sten og blokke i moræneleret og i smeltevandsgruset afsat i åse på morænefladen (Milthers 1942; Sjørring 1973, 1974; Berthelsen 1974; Rasmussen 1974; Berthelsen *et al.* 1976; Hansen 1981; Gregersen 1986; Houmark-Nielsen 1987 og upublicerede data; Richardt 1992) viser, at morænefladens

aflejringer har et højt indhold af bjergartsstumper fra det centrale Skåne og Østersøen (Fig. 18) og, at stentællinger i åse afsat oven på morænefladen er helt domineret af ledeblokke fra Østersøen (Milthers 1942).



**Fig. 18.** Mandshøj blok af den skånske Hardeberga sandsten med lodrette gravegange placeret på P-plads ved Dale nordøst for Gurre Sø. Foto K. Tommerup (2013).

## Randmorænestrøg

Målinger af stens orientering i moræneleret og led-sagende foldestrukturer (Fig. 19) viser isstrømning i nordvestlig retning under fremrykningen, ligesom istektoniske strukturer i randmoræner dannet under afsmeltningen viser samme hovedretning. Flere forskelligt udformede men langstrakte bakkerækker er efter alt at dømme dannet i Bælthav Isstrømmens randområde under dens trinvis tilbagesmeltning.



**Fig. 17.** Bælthav Isstrømmens moræneler er en del af morænefladen på Vinderødhalvøen ved Frederiksværk, her Arrenakke grusgrav. Foto M. Houmark-Nielsen (1988).



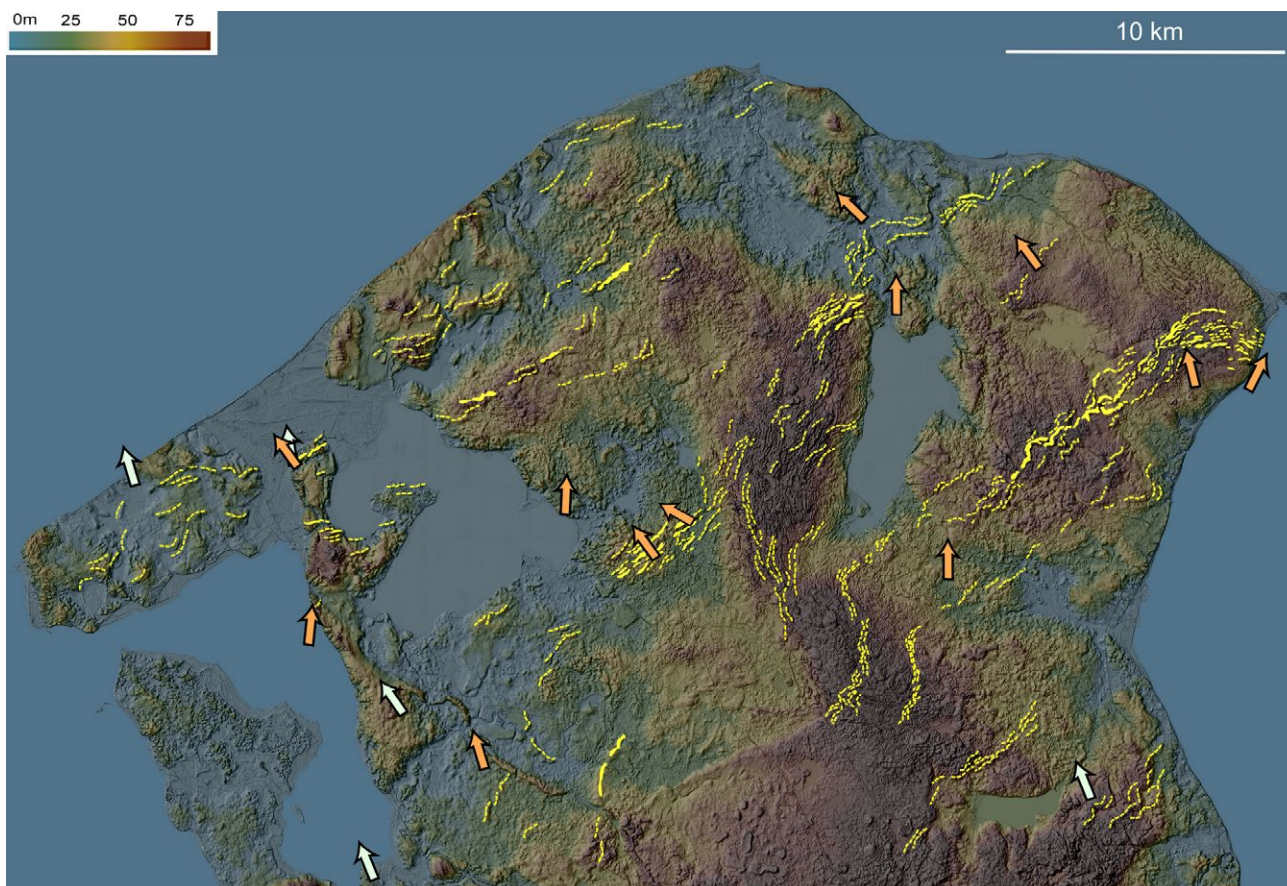


Fig. 19. Bælthav Isstrømmens strømningsmønstre og randmoræner i NØ-Sjælland. Efter Milthers (1935), Berthelsen (1974), Rasmussen (1974), Berthelsen *et al.* (1976), Gregersen (1986), Houmark-Nielsen (1987, 1996), Richardt (1992) og Sjørring (1973, 1974).

Disse omfatter pushmoræner med istektonisk forstyrret indre, der indikerer istryk vinkelret på bakkernes retning. Andre former dækker over de noget mindre dumpmoræner dannet ved udsmeltnings og nedfald af materiale foran en isrand.

### Pushmoræner:

#### De store sammenskudte israndsbakker

Der er kun kendt få åbne profiler gennem større pushmoræner dannet under Bælthav isens tilbagemelting, her er udvalgt to, dels fra egnen omkring Tulstrup og dels den sydlige del af Helsingør, hvor der findes optegnelser udført med mere end 125 år mellemrum.

I de nedlagte grusgrave i Tulstrup nord for Hil-

lerød kunne tidligere ses store skiver af moræner og smeltevandsskudninger, der er stablet sammen fra sydøstlige retninger (Fig. 20).

Skiverne dækkes af smeltevandsskudninger og moræner, der stedvis også har deltaget i deformationsprocessen. Det er uklart, hvorvidt det øvre moræner er afsat i forbindelse med overskydningerne eller om det skyldes, at strukturerne er overskredet af en yngre fase af Bælthavisen. Strukturerne flugter med retningen af fremtrædende langstrakte bakker, hvori grusgravene findes (Fig. 21). Flere steder løber morænerygge i nord-sydlig retning hen over pushmorænerne, hvilket kunne tyde på, at de efter opskydning er overskredet af en is fra mere østlige retninger. I landskabet indgår større randmoræner, mindre randmoræner og moræ-

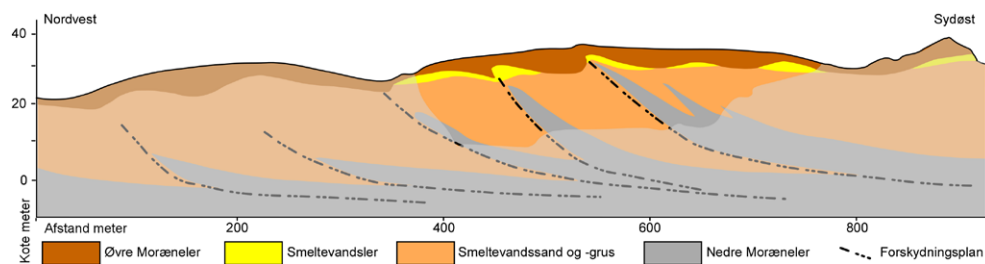


Fig. 20. Geologisk model med profil gennem grusgravsområdet ved Møllehøj vest for Tulstrup baseret på feltmåling (fuldt farvelagt) og tolkning af boretdata (sløret). Efter Region Hovedstaden (2015).



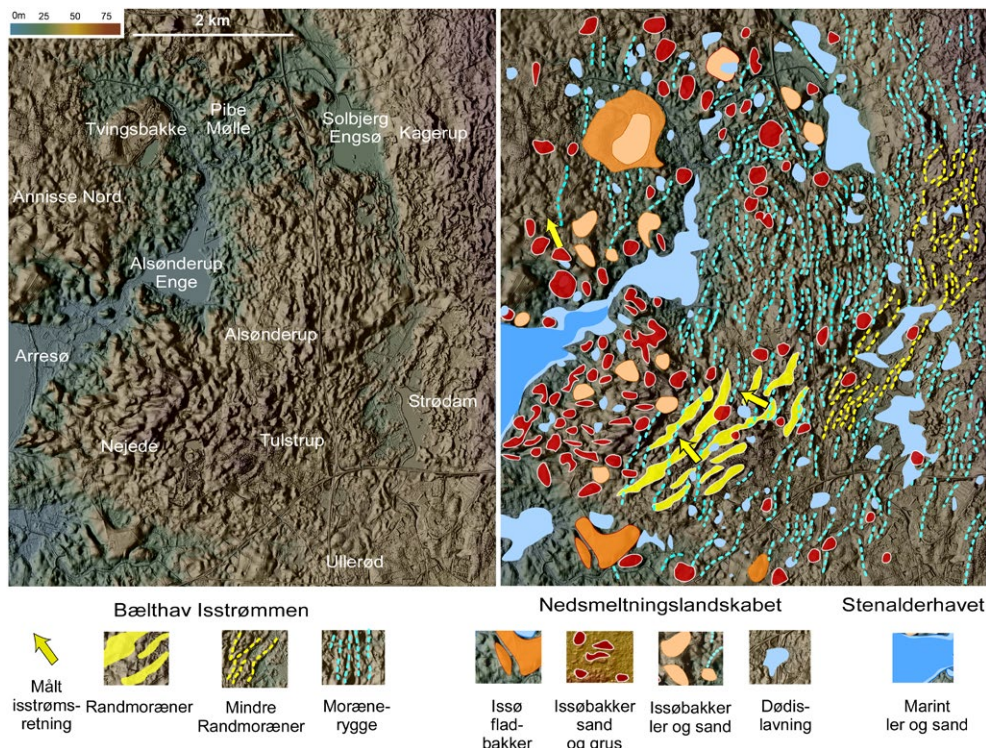


Fig. 21. Landskabsformerne omkring Tulstrup i området mellem Arresø og Gribskov.

nerygge i regionale bakkekomplekser, der ligger side om side med issøbakker og dødislavninger fra den senglaciale dødisnedsmeltning.

I landskabet mellem Helsingør og Snekkersten mødes de ældre og yngre randmorænebakker i et krydsende mønster, og selvom Bælthav Isstrømmens randdannelser en del steder synes at ride over de ældre, er det ikke muligt ud fra terrænanalyser med sikkerhed at knytte alle bakkestrøg til den ene eller anden generation af israndsdannelser. Dette skyldes

for en stor dels vedkommende, at den digitale terrænmodel har svært ved at gengive de oprindelige landskabstræk i det tæt bebyggede byområde. Kurveplaner fra topografisk kortlægning i første halvdel af 1800-tallet har været til nogen hjælp, men en nærmere udredning af disse forhold ville i bedste fald kun være muligt gennem studier af bakkernes indre arkitektur. Dette har kun har kunnet lade sig gøre ved en nøjere granskning af mere end 125 år gamle skitser (Fig. 22).

To af de formodede israndsbakkers indre opbyg-

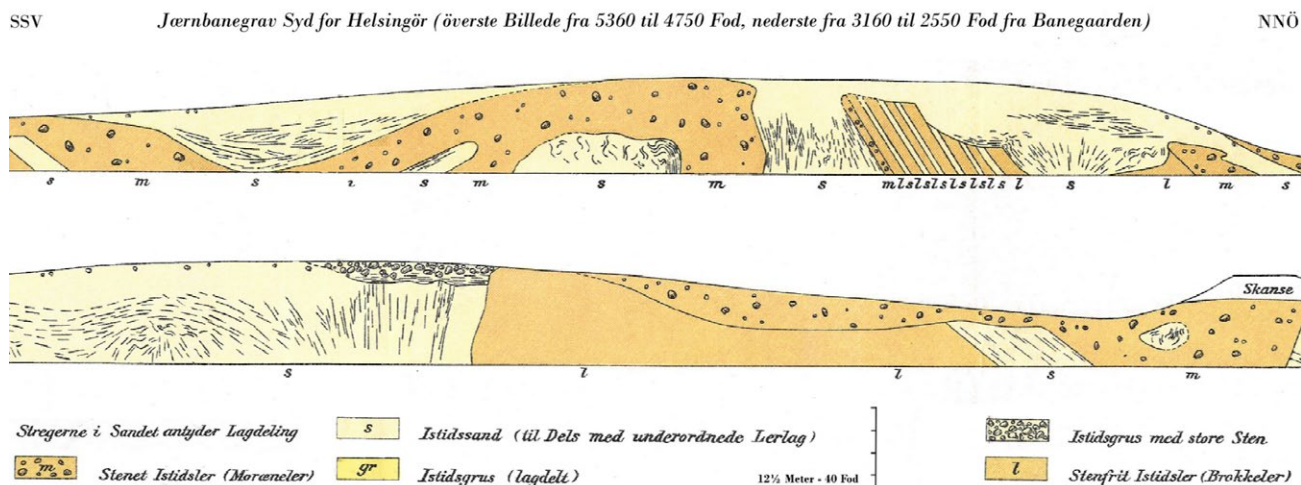


Fig. 22. Udsnit af to feltskitser fra slutningen af 1800-tallet der viser de geologiske forhold i det indre af israndsbakkerne langs udgravning til jernbanen tæt på kysten ved Skanseøre syd for Helsingør. Lag af sand, ler og moræneler er presset sammen og foldet og efterfølgende dækket af stenet grus og moræneler. Hvert udsnit har en længde på ca. 200 meter. Efter Ussing (1904).



ning blev synliggjort i forbindelse med anlægget af kystbanen ved Helsingør i slutningen af 1800-tallet, hvor der langs banegraven gennem bakkestrøget bag Skanseøre opmålte et par geologiske profiler. Her fandtes aflejringer fra tidligere isstrømme liggende i store, tætte og kippede folder dækket af israndsafsætninger. Den indre arkitektur viser former, der er lig den type folder, der opstår, når en lagfølge presses sammen af sideværts kræfter. Selvom lagenes rumlige orientering ikke er angivet, viser de to profiler foldning af lagene vinkelret på bakkeretningen, og mens formen af det foldede moræneler i midten af det øvre profil viser, at lagpakken er trukket ud mod nord, viser strukturerne de i det nedre profil ikke nogen foretrukket retning af sammenpresningen. De gennemgravede bakkers foldede lagpakke er skåret af i toppen, og dækket af både moræneler, smeltevands-sand og -grus med store sten (morænegrus) afsat efter deformation. Konklusionen må være, at bakkerne er pushmoræner skudt sammen af istryk fra sydlige retninger. Aflejringer af et tæppe af gletsjer-sedimenter oven på bakkernes kerne er sandsynligvis foregået ved nedskridning af materiale langs isens rand.

Bakkeryggene i jernbanegennemskæringen, der overlejrer de ældre israndsbakker omkring Helsingør, er helt klart randmoræner, der ligger for enden af den perlerække af samme type bakker, der i buform fortsætter fra kysten op i højlandet til området omkring Hestens Bakke og Montebello (Fig. 23). Derfor er det mest sandsynligt, at bakkerne ved Skanseøre og deres forlængelse ind i baglandet er opstået langs med Øresundsgletsjerens yderste rand, som vist i (Fig. 13).

Flere bakker i det højt liggende israndsstrøg vest og syd for Helsingør indeholder den samme type brokkeler, som findes ved Skanseøre, og hvor flere teglværker har udnyttet forekomsterne. Når leret optræder i overfladen, anses det at være løsrevet fra deres oprindelige leje og skubbet sammen langs randen af en gletsjer, og ydermere har nogle af bakkerne et stærkt deformeret indre, hvor lagdelingen er sat op i stejlt stillede skiver og foldet på grund af istryk fra sydlige retninger (Milthers 1935). I terrænet omkring Hestens Bakke og Montebello er randmorænerne og lavningerne imellem også udstyret med en kappe af glaciale sedimenter, der er skyllet, gledet eller dumpet ned langs isens rand.

### Mindre randmoræner

De opskudte randmoræner ved Skanseøre og deres forlængelse ind i baglandet ledsages af mindre voldformede randmoræner. De mindre randmoræner kan være dannet ved sammenstuvning og udpløjning af sedimenter langs isranden, og deres indre istektoniske strukturer afslører den retning, hvorfra deformationen er sket. Dimensionerne er betydeligt

mindre end de store overskydningskomplekser, der kendes fra Nakkehoved, Gribskov randmorænerne og dem ved Skanseøre. Sammenstuvning af ryggene er sandsynligvis sket samtidig med, at materiale er smeltet ud af isens overflade og styrtet, gledet eller dumpet ned foran den aktive gletsjers rand, hvor det har lagt sig til rette som uregelmæssige volde af morænegrus (Fig. 24).

Disse mindre randmoræner, kaldet dumpmoræner, blev efterladt foran den aktive isrand under tilbagesmeltning, ofte i et miljø præget af dødis, og hvor også smeltevandsfloder har været aktive. Resultatet

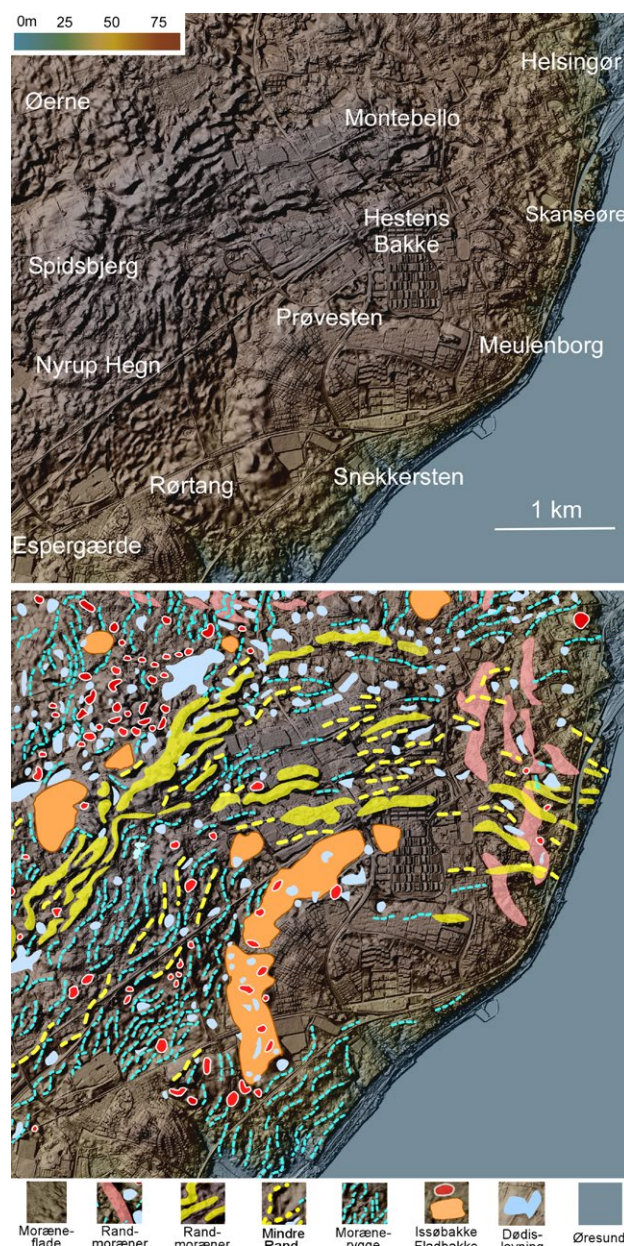


Fig. 23. Randmoræner, morænerygge dødis bakker omkring Helsingør.





**Fig. 24.** Dumpmoræne bestående af morænegrus under dannelse ved nedfald af materiale fra isens front. I forgrunden en smeltevandsflod. Moltke Bræ, Wolstenholme Fjord, Thule, NV-Grønland. Foto M. Houmark-Nielsen (1989).

er relativt lave bakkerygge, der slynger sig gennem landskabet (Krüger 1989, 1994, 2017). Det kræver åbne profiler i disse bakker for at afgøre et eventuelt samspil mellem deformation, dumpning og aflejring via smeltevand langs den tidligere isrand, hvilket sjældent forekommer i dagens NØ-Sjælland (Fig. 25).

### Morænerygge

Som en del af israndsbæltet omkring Helsingør ligger sværme af mindre morænerygge tæt op ad randmorænerne og med samme orientering som disse (Fig. 23). Morænerygge synes derfor at have en tæt relation til israndsdannelser, og de er formodentlig opstået i et miljø, hvor en tilbagesmeltende isrand måtte have gjort ophold eller, hvor isrands-parallelle sprækker er udfyldt med morænemateriale.

Udbredelsen af morænerygge og andre iøjnefaldende bakkekamme i NØ-Sjælland blev skitseret ud fra stereografiske studier af flyfotos (Sjørning 1973). Langstrakte bakkers retning samt spor efter flager og lag af sand og grus i jordoverfladen blev afbildet i form af slyngede og ofte sammensatte mønstre hyppigt med en foretrukken nord-sydlig orientering. Det samlede kortbillede viser antydningssvis de land-

skabsmæssige resultater af en eller flere isdækkers afsmeltning, der havde invaderet området fra østlige retninger. Landskabets formverden blev sammenlignet med det Slesvig-Holstenske randmorænelandskab beskrevet af Gripp (1964) på baggrund af dennes studier af recente israndsområder på Svalbard (van der Meer 2004), men Sjørnings morfologiske studier i NØ-Sjælland blev aldrig fulgt til dørs og har siden stået temmelig upåagtet hen.

Over store dele af NØ-Sjælland findes morænerygge både i ordnede, retningsbundne bundter i flere tilfælde i tæt parløb med randmorænestrøg, mens de andre steder optræder i tilsyneladende kaotisk strøede mønstre uden foretrukken orientering ofte i forbindelse med dødislandskaber.

I Store Dyrehave slynger morænerygge sig i bånd, der draperer de ældre randmoræner, hvor de i områdets sydlige og mere dødisprægede del ligger som ringformede volde rundt om dødishuller, mens de synes at smygge sig uden om større issøfladbakker (Fig. 26). Ryggene må uanset orientering og form være knyttet til Bælthav Isstrømmens tilbagesmeltning og den efterfølgende udformning af Senglacialtidens dødislandskab.



**Fig. 25.** Mindre randmoræne syd for Hornbæk, bestående af store isskurede blokke i en matrix af morænegrus. Tilgroet tidligere grav i den langstrakte bakke 'Horneby Ås' syd for Hornbæk. Foto M. Houmark-Nielsen (2022).



### Morænerygge i Gribskov

Morænerygge består af morænegrus og moræneler eller blandinger af de to; i nogle tilfælde med et indre af grusede og sandede smeltevandssedimenter. Den fremherskende overfladeform i Gribskov er voldformede og voldformede småbakker, der slynger sig i brede bånd skråt hen over landskabets storformer (Fig. 27). I et snit på tværs af Gribskov ses i et profil fra Kagerup til Nødebo, at NØ-Sjællands regionale

højderyg nærmest er belagt med et savtakket overtræk af tætliggende skift mellem bakker og lavninger (Fig. 28).

På en strækning over 1,6 km centralt i Gribskov lidt syd for Store Grib sø ligger bakkerygge med en indbyrdes afstand af 50–150 meter adskilt af mosefyldte lavninger, og med højder, der i forhold til det omgivende terræn sjældent overstiger 10 meter; ofte blot det halve (Fig. 29). Denne udformning af det

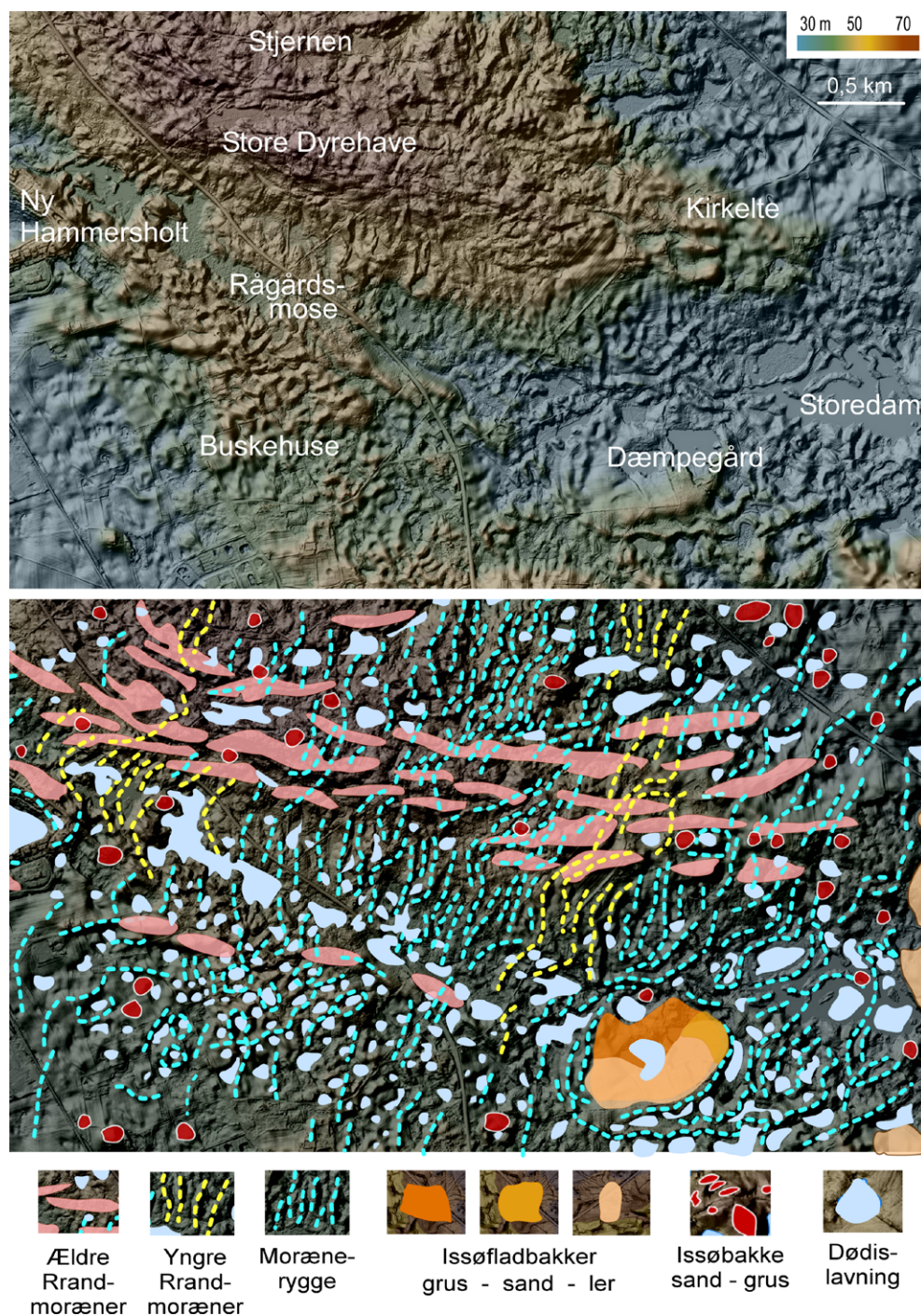


Fig. 26. Ældre strøg af randmoræner overlejret af slyngede bånd med lave morænerygge og mindre randmoræner, der afspejler israndens gradvise tilbagesmeltning. Ryggene viser et mere tilfældigt mønster omkring senglacialtidens issøbakker f. eks. fladbakken ved Dæmpegård.



bakkede landskab synes at gælde størstedelen af det skovklædte område. De grusbelaagte rygge er bedømt til at være randmoræner, men deres oprindelse har kun lejlighedsvis været omtalt nærmere og det i forbindelse med gennemgang af israndslinjer (Milthers 1935). Hansen (1981) tilslutter sig teorien om israndsdannelser og anfører, at de mest fremtrædende og

højest beliggende parallelbakkede områder i Gribskov er en del af et større israndsbælte, dannet af en østfra kommende gletsjer. I dag kan ryggenes indre opbygning fornemmes i vejgennemskæringer, hvor de ses næsten udelukkende at bestå af morænegrus eller sandet moræneler i nogle tilfælde med en kerne af smeltevands grus eller stenet grus (Fig. 30).

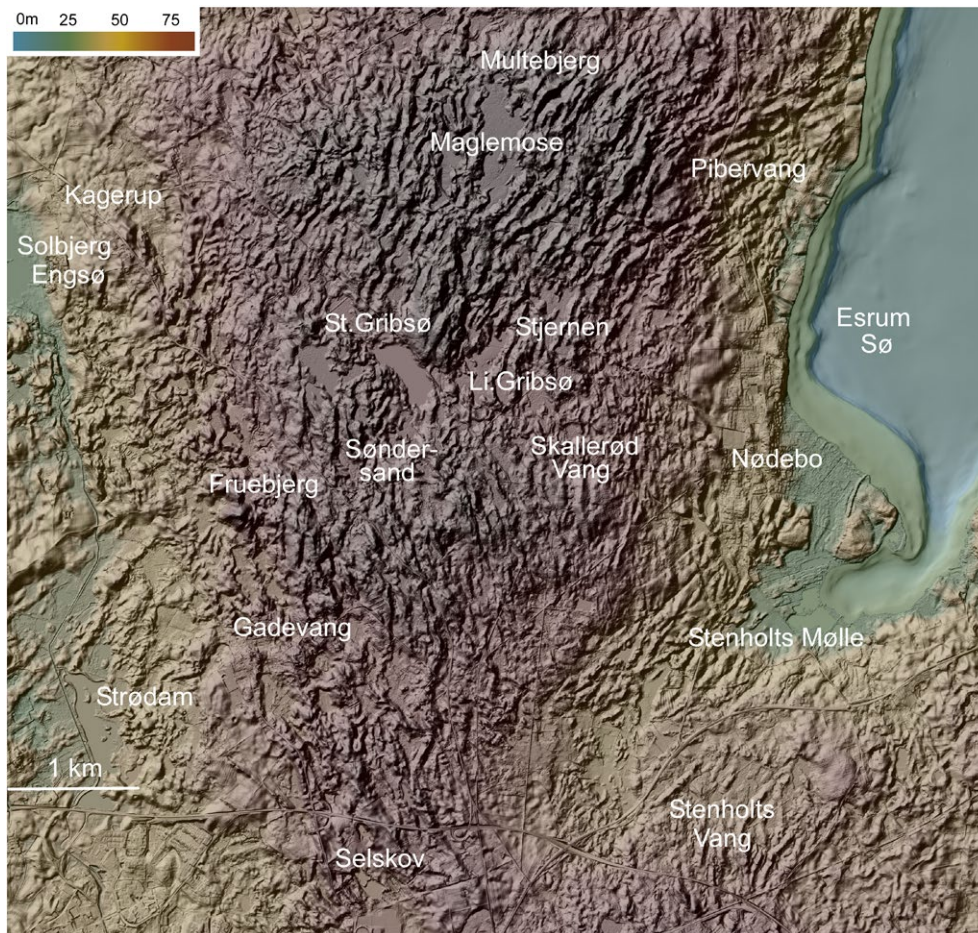


Fig. 27. Terrænmodel over den sydlige del af Gribskov.

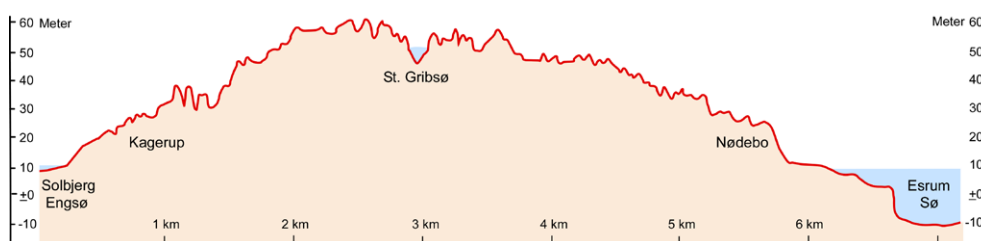


Fig. 28. Profil gennem Gribskops kuppelformede bakkeryg fra Solbjerg Engso og Kagerup via Gribso og Nødebo til Esrum sø.

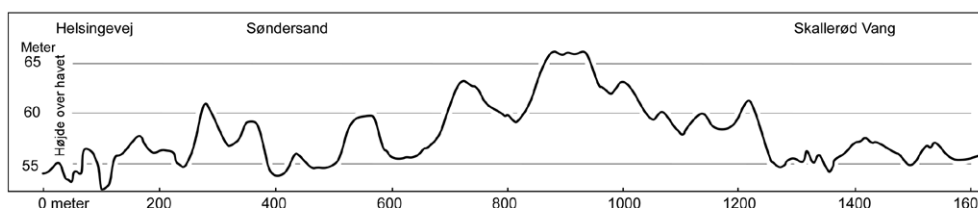


Fig. 29. Terrænprofil fra Helsingvej gennem **Sønder sand** til Skallerød Vang. Lave morænerygge af 4-8 meters højde ligger med ca. 100 meters mellemrum.

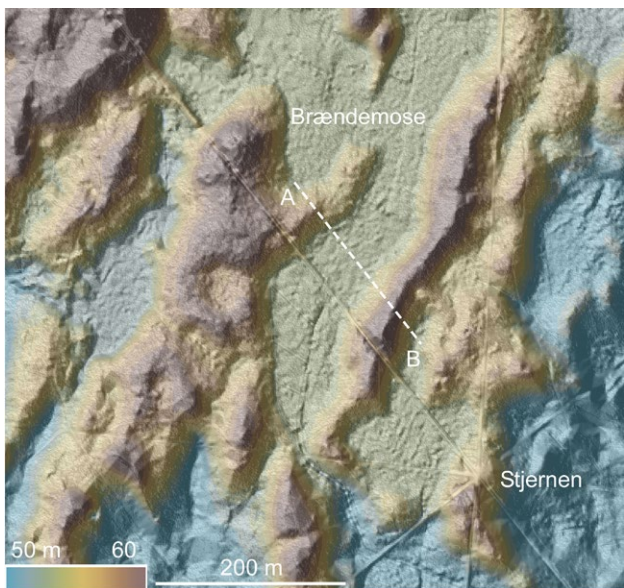
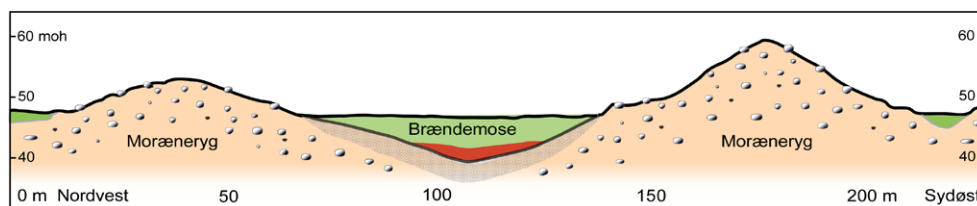


Et udsnit af terrænforholdene omkring Stjernen i det sydlige Gribskov viser detaljerne omkring moræneryggenes morfologi (Fig. 31). Her ses omtrent samme tætte afstand mellem to knap 10 m høje rygge som i det meste af Gribskov. Ryggene adskilles af lavninger, som i bunden består af smeltevandssand dækket af Allerødtidens senglaciale sø-aflejringer, som i dag er skjult under metertykke sø og moseaflejringer fra



**Fig. 30.** Delvis tilgroet moræneryg nær Brændemose, Gribskov. Foto M. Houmark-Nielsen (2022).

**Fig. 31.** Skematisk profil af terrænet nær Stjernen gennem Brændemose og omgivende morænerygge. Rød: Senglaciale aflejringer med lag fra Allerød varmetid, grøn: Postglaciale aflejringer. Efter Jessen (1920).



**Fig. 32.** Morænerygge og mosefyldte lavninger i Gribskov. Højdemodel for området ved Stjernen med angivelse af profil (A–B) i Fig. 31. I flere af ryggene eller området mellem dem ses indsynkningshuller efter smeltede dødsklumper.

Postglacaltiden. Højdeforskellen mellem ryggenes top og bund er altså større end terrænet lader formode, idet det postglaciale fyld mellem ryggene først blev aflejret efter ryggenes dannelse.

Ryggene ved Brændemose ligger stort set parallelt og i næsten nord-sydlige retninger, og deres form varierer fra nogle 10-tals meter i bredden med skarpe bakkekamme til at være mere end 100 meter brede, fladtoppede og ofte sammensat af flere mindre rygge (Fig. 32). Adskillige af de brede rygge er gennemsat af kraterlignende huller og lavninger dannet ved indsynkning, der skyldes smeltning af begravede dødsklumper inde i ryggene.

### Moræneryggenes oprindelse

Gribskogs og Store Dyrehaves morænerygge danner vaskebræt-lignende terrænformer, der især træder tydeligt frem langs de retlinede jagtveje (Fig. 33). Selv om ryggene består af sedimenter af forskellig beskaffenhed, så synes deres opståen nært knyttet til miljøet, der herskede i krydsfeltet mellem aktivt flydende is og stilleliggende død is.

I store træk kan der skelnes mellem tre typer voldformede småbakker, som imidlertid kan være svære at adskille fra hinanden ud fra form og indhold. Materialet i ryggene udgår fra de blandinger af sten, grus, sand og mudder, som er smeltet ud af gletsjeren. Mens den ydre udformning i mange tilfælde stort set er ens, kan indmaden i de enkelte rygge være temmelig forskellig. I den ene ende af spektret ses ryggenes indre at bestå af velsorterede smeltevandaflejringer af lagdelt sand, grus og i nogle tilfælde med indslag af mudder. Andre rygge indeholder partier af lagdelt smeltevand sand og grus vekslende med lag af morænesand og morænegrus. I modsat ende af spektret findes bakkernes indre udelukkende opbygget af det stærkt stenede og blokholdige, nærmest usorterede morænegrus uden iøjnefaldende indre strukturer. I langt de fleste tilfælde ligger morænegrus almindeligvis som en kappe, der dækker bakkeryggene.

Aflange og parallelt liggende småbakker sættes almindeligvis i forbindelse med frembrud og afsmeltning af isstrømme, og et bredt spektrum af aflejringsprocesser er bragt i anvendelse for at for-



**Fig. 33.** Morænerygge og lavninger i Stenholts Vang, Gribskov set mod nordvest. Foto M. Houmark-Nielsen (2022).

klare deres dannelseshistorie. Eksempler på forskellige landskabsformer efterladt af hurtigt flydende gletsjere findes hos Bennet & Glasser (2009), Evans *et al.* (2013) og Ingólfsson *et al.* (2015), mens en historisk oversigt er givet af Evans & Evans (2022). Her omtales bl.a. smalle og lave rygge bestående af moræneler og andre finkornede og let deformerbare sedimenter, der gennem åbne sprækker ved basis presses op mod isens overflade, når flydningen ophører, hvorefter de vil fremstå som lave spidse rygge i det afsmeltede landskab. Rogen-moræner er subglaciale morænerygge, dannet vinkelret på gletsjerens flydning ved påklstring af morænemateriale på gletsjerens sål eller ved omformning og udtværing af eksisterende landskabsformer. De kendes fra det mellemste Sverige og fremstår som vaskebræt-lignende rygge af størrelser sammenlignelige med NØ-Sjællands morænerygge.

Dannelse af voldformede og aflange småbakker, der har størst lighed med morænevoldene fra NØ-Sjælland, er beskrevet fra forlandet af en afsmeltende isrand på Svalbard (Boulton 1972; Evans 2009). Her akkumuleres udsmeltet materiale aflejret på isens overflade mellem opskudte partier af afstødt gletsjeris, hvis orientering er kontrolleret af den tidligere isrands geometri. Disse undersøgelser har genereret en aflejringsmodel, der kan tjene til at forstå, hvordan småbakkerne i Gribskov kunne være blevet til (Fig. 34).

Af modellen følger, at det der senere blev til ryggen i begyndelsen, må være aflejret i lavninger mellem opragende partier af dødis, liggende side om side i lange rækker foran og langs med en afsmeltende gletsjers rand. Materialet kan være afsat via smeltevand i floder og søer, i andre tilfælde båret af tyngdestrømme eller udsmeltet som enkeltpartikler og dumpet ned fra isklinter; i de fleste tilfælde ved en kombination af

disse processer. Efter den endelige afsmeltning stod sedimenterne frem som langstrakte bakkekamme, mens de tidligere rester af dødis havde efterladt lavninger i terrænet mellem ryggen. Landskabets former blev inverteret under afsmeltningen, de blev så at sige 'vendt på hovedet', så det, der før var de højeste områder (opragende dødis), blev til lavninger, mens de dybeste (smeltevandssøer, flodløb og morænefyldte sænkninger) nu indtog de højt liggende områder (Fig. 34B). Småbakkerne kan derfor alt efter form og indhold omtales som åse, morænerygge eller mindre randmoræner. Den glidende overgang mellem de tre kategorier betyder, at de kan have begyndt deres historie i flodløb for senere at blive fyldt med nedstyrtende usorteret mudder, sten og grus eller moræneler.

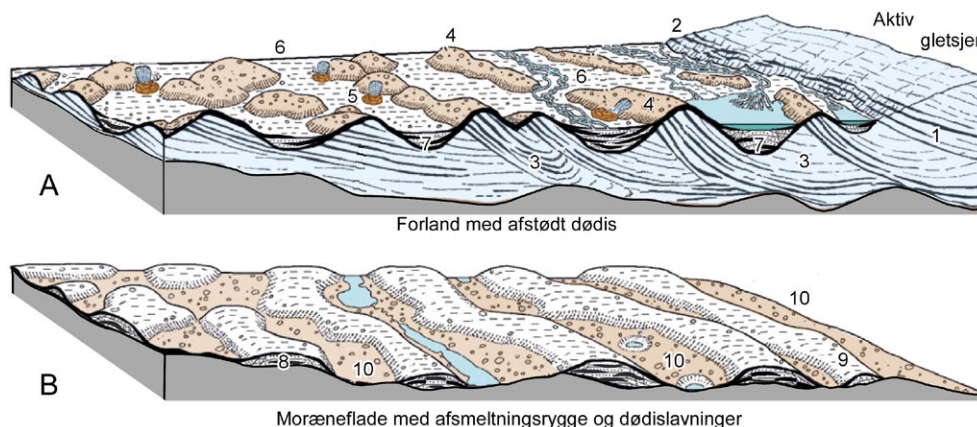
Hvad modellen imidlertid ikke tager i betragtning, er underlagets aktive inddragelse i opstabling af de afsnørede gletsjerpartier. Mens gletsjeren på Svalbard glider på fast fjeld, fandtes der under og foran gletsjerne i det danske istidslandskab, vandmættede, bløde og formbare sedimenter iblandet dødis fra tidligere fremstød. Disse materialer har sammen med isen selv været leverandører til moræneryggenes sedimentindhold. Dette fornemmes f.eks. i ryggenes varierede stenindhold, der i NØ-Sjælland har hjemme både i Sydsverige, Skåne og Østersøen. Modellens opskudte partier af dødis har i det danske istidslandskab sandsynligvis været suppleret med sedimentpakker hentet lokalt, og som under opstablingen kan være påtrykt istektonisk deformation. Der er dog ikke observeret istektoniske forstyrrelser opstået ved kompression i moræneryggen, mens normalforkastninger opstået ved aflastning ikke er ualmindelige. Disse forhold vil muligvis kunne belyses ved opmåling af seismiske profiler lagt vinkelret på Gribskovbakkernes hovedretning.



**Fig. 34.** Model for dannelsen af langstrakte morænerygge.

**A:** det oprindelige dødister-ræn, **B:** nutidens landskab.

1: Gletsjeris med høj koncentration af morænemateriale langs glideplaner. 2: Isrand, 3: Afsnøret død. 4: Opskudte flager af død med udslemmet morænemateriale. 5: Skred og åben væg med død. 6: Lavning med smeltevandsløb. 7: Aflejringsbassin med smeltevandsmaterialer og moræneler afsat ved tyngdestrømme. 8: Det indre af en moræneryg med smeltevands-sand og -grus samt lag af morænegrus og moræneler. 9: Enkelt moræneryg blandt mange i istidslandskabet. 10: Moræneflade med dødishuller. Fra Smed (2014) efter Boulton (1972).



Moræneryggenes oprindelse knytter sig efter alt at dømme til et israndsmiljø, hvor flere nedsmeltning-processer har spillet ind. Et scenarie kunne være en hurtigt flydende del af gletsjeren, en isstrøm, der er trængt ud i forlandet, for derefter at miste fremdrift og til sidst at stagnere, fordi tilskuddet af aktivt flydende gletsjeris fra isskjoldet ikke har været tilstrækkeligt til at holde flydningen ved lige. Herefter er den yderste del af randområdet blevet afsnøret fra hovedisen og efterladt som partier af død is foran en nydannet isfront. Fornyet ophobning af gletsjeris i baglandet vil endnu en gang medføre fremrykning og sammenstuvning af den afsnørede død is, men denne gang til en position der lå bag den forrige. Dette mønster af gentagen fremrykning, afsnøring og nedsmeltning med netto regional tilbagerulning af isskjoldet har efter alt at dømme skabt de bælter af langstrakte morænevolde, der sammen med israndszoner især findes i NØ-Sjælland, men som også kan genfindes i andre dele af landet (Houmark-Nielsen 2021b).

### Åse, morænevolde eller randmoræner

En del langstrakte bakkerygge i NØ-Sjælland blev under den geologiske kortlægning opfattet som ås-bakker (Rørdam 1899, s. 54), altså dannet i smeltevandsfloder, der løb i tunneler i isen eller i brede og åbne sprækker oven på gletsjeren. Det dække af morænegrus, der ofte indpakker åsene, blev samtidig taget til indtægt for, at de måtte være overskredet af et yngre isfremstød, nemlig det, der aflejrerede morænegruset. I senere arbejder blev alle åse med undtagelse af Strø Bjerge udlagt til at være randmoræner fra afsmeltningen af det sidste isdække (Milthers 1935).

Diskussionen angående åses oprindelse er imidlertid ikke ny, men der hersker stadig grundlæggende usikkerhed om åses indpasning i israndsmiljøet. Her

skelnes mellem de åse, der er anlagt nogenlunde parallelt med isens flyderetning og med udløb ved isranden og tværase liggende langs isens rand. Andersen (1931) og Milthers (1948) fremhæver at tværase ofte optræder bundtet sammen med israndsdannelser, hvorfor de må opfattes som en særlig type randmoræner. De består ganske vist af smeltevandssedimenter, men disse formodes afsat ved strømning på tværs af bakkernes retning og iblandet et væsentligt tilskud af morænegrus og andre israndssedimenter. Et eksempel herpå er åsbakkerne på Røsnæs, hvis indre opbygning netop består af disse ingredienser visse steder tilføjet istektonisk deformation (Andersen 1965).

Nyere undersøgelser af åsene mellem Hornbæk, Esrum og Helsingør (Horneby Ås, Havreholm Ås og Gurre Ås) har godtgjort, at disse bakkestrøg er åse i klassisk forstand (Gregersen 1986), hvor smeltevand, der løb mod nordvest i sprækker i Bælthav fremstøds ismasser, bl.a. har aflejret sten og grus af baltisk herkomst i hele deres fulde længde (Fig. 35).

Imidlertid synes de vestligste dele af Horneby Ås syd for Hornbæk (Fig. 25) at udvise overbevisende tegn på at være en israndsdannelse, hvis indre viser stærkt istektonisk forstyrrede vandafsatte grus og sandlag vekslende med stenet og blokrigt morænegrus (Milthers 1935, s. 67).

Rørdam (1899) omtaler ligeledes et strøg af åse langs den vestlige side af Gribskovs og Store Dyrehaves bakkeland i egnen omkring Hillerød. Disse åse beskrives som stærk forstyrrede og med et dække af moræneler eller morænegrus, og det fremhæves, at de derfor må være dannet i et tidligere isdække, da de i dag kun findes bevaret som ruiner og rester af et større åsstrøg, som efterfølgende blev overskredet af den yngste isstrøm, der indtog området. Også her



afviser Milthers (1935), at bakkerækkerne skulle være åse og karakteriserer dem som randmorænedannelser. Det har ikke været muligt på baggrund af den noget sparsomme og modstridende litteratur, at nå til bunds i Hillerødåsens oprindelse, dog synes de i begyndelsen at være formet af smeltevandsløb i dødis for senere at blive skubbet til, brudt op og dækket af grovklastiske og dårligt sorterede israndssedimenter. Dette kunne være sket enten ved sammenbrud af den dødis, hvori de blev aflejret eller i forbindelse med



Fig. 35. Resterne af Horneby Ås nær udspringet omkring Holmene vest for Helsingør. Foto: K. Tommerup (2013).

fornyet fremrykning af gletsjeren med efterfølgende afsmeltning. Det synes således, at et varieret udvalg af langstrakte bakkerygge bestående af dumpmoræner, åse og morænevolde udformet i et israndsmiljø er et gennemgående træk i det nordøstsjællandske istidslandskab.

#### *Landskabet omkring Fruebjerg*

Egnen mellem Selskov, Gadevang, Strødam og Fruebjerg kan tjene som eksempel på, hvilke vanskeligheder der melder sig omkring tolkning af landskaberne i Gribskovegnens vestlige bakkeland (Fig. 27). Det højeste punkt er Fruebjerg, der når 65 meter over havet nord for Gadevang – den fladtoppede bakke er et yndet udsigtspunkt for skovvandrere. Landskabet domineres af de nord-syd orienterede bakkerygge adskilt af dybe slugter. De enkelte bakkekamme varierer i længde fra under 100 m til flere kilometer, og de er i hele området overstrøet med isolerede småbakker.

Rørdams såkaldte 'Hillerødåse' slynger sig her mellem randmoræner og morænerygge med stort set samme orientering, hvilket kunne styrke ideen om, at de alle skulle have tilknytning til en og samme israndszon (Fig. 36). Højest og bredest er randmoræner fra de to yngste isstrømmes afsmeltning, men at skelne disse fra hinanden og fra åsene lader sig næppe gøre på overbevisende måde alene ud fra terrænformerne. Imidlertid synes de yngre israndsdannelser og ræk-

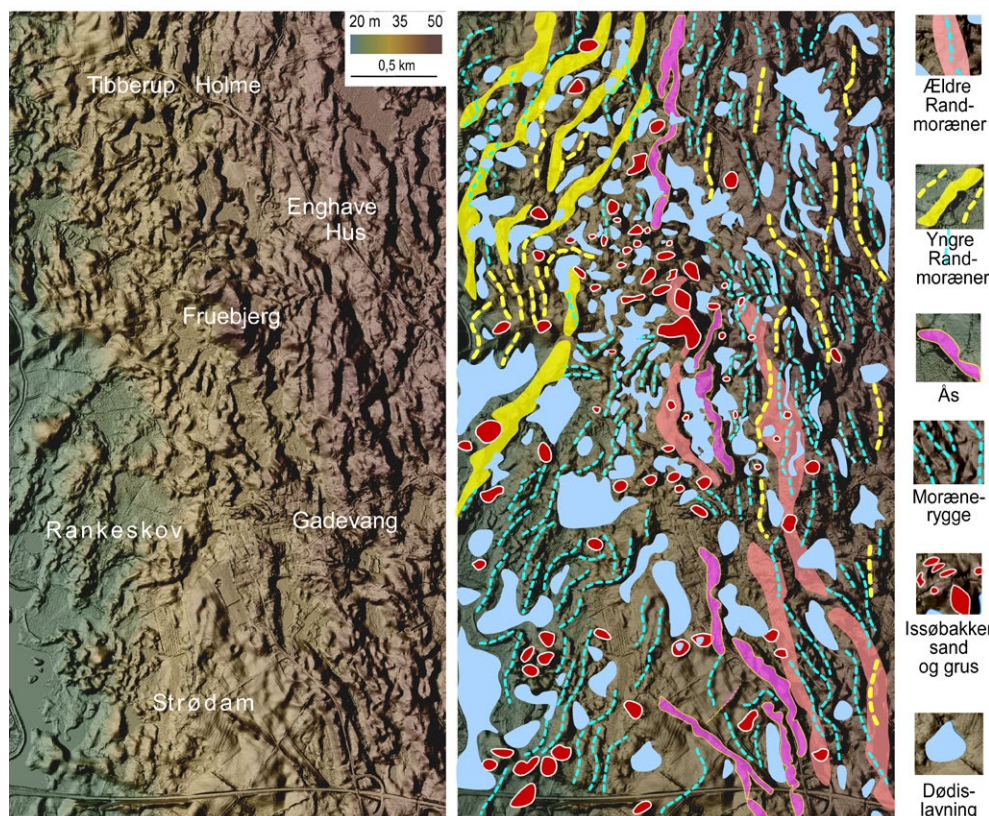


Fig. 36. Området omkring Strødam og Fruebjerg. Israndsbakker, ås-lignende bakker og morænerygge adskilt af dødislavninger dominerer terrænet. Mindre issøbakker er lagt ovenpå israndsbakkerne.



ker af slyngede morænevolde at ligge hen over de ældre randmoræner, men ikke over åsene, hvilket giver mulighed for at udrede et om end lidt flydende hændelsesforløb. I NØ-Sjælland havde Bælthav Isstrømmen invaderet et dødisdækket landskab præget af den Østjyske Isstrøms randmorænedannelser. Mens den yngre isstrøm var under tilbagesmeltning, blev stadig større arealer med dødis afsnøret fra hovedisen. Store sprækker parallelt med randen blev uddybet af smeltevandstrømme, hvor sand, grus og mudder kunne aflejres, ligesom der opstod isdækkede søer på isens overflade. Med dødisens nedsmeltning dukkede isolerede issøbakker frem øverst i terrænet der, hvor søer på isens overflade var blevet udfyldt af smeltevandets sand og grus. Toppen af Fruebjerg er en issøbakke, der efter alt at dømme er sat oven på en israndsbakke, sandsynligvis en af de ældre. Samtidig brød smeltevandskanalernes sider af is endeligt sammen, og usorteret morænemateriale blev lagt som en kappe over flodsedimenterne. Efterfølgende smeltede de ås-lignende bakker frem sammen med de langstrakte og lave morænerygge, og som afsmeltningen skred frem, opstod mellem bakkerne flere og flere dødislavninger, som blev dybere og bredere, efterhånden som nedsmeltningen tog fart. Da ryggene, åsene og randmorænerne var blevet frilagt, smeltede de sidste rester af den begravede dødis, og efterlod sig lavninger og huller i landskabet.

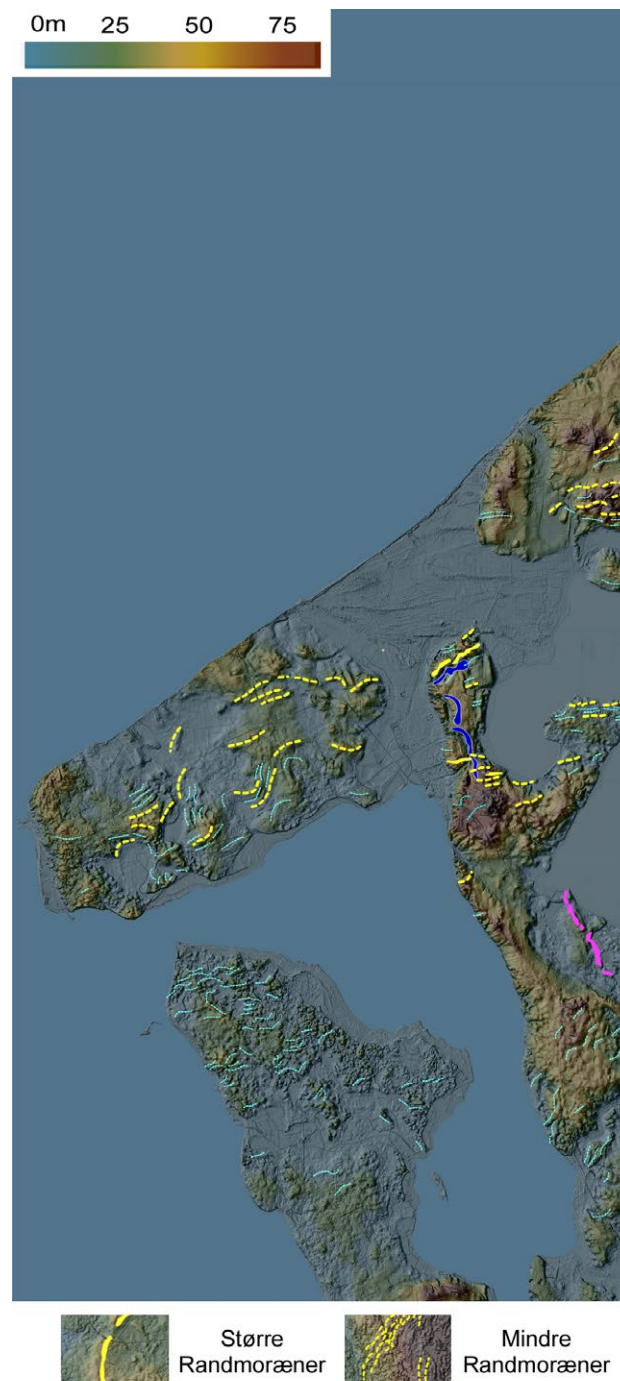
Det må konkluderes, at bakkelandet i den vestlige del af Gribskov kan, ud fra de sparsomme geologiske beskrivelser der findes, samt terræformernes sammenflettede udseende, ikke med sikkerhed henføres til det ene eller det andet af de seneste isfremstød. Når der samtidig er flere processer involveret i terræformernes opståen, illustrerer det udfordringen ved at fremstille landskabskort med indbygget kronologi på det foreliggende grundlag.

## Bælthav Isstrømmens tilbagesmeltning

Sammenflettet med de nordøst-sydvest løbende randmorænestrøg slynger bundter af morænerygge sig gennem store dele af NØ-Sjælland (Fig. 37). Tilsammen illustrerer de Bælthav Isstrømmens trinvis tilbagesmeltning fra Kattegatkysten til Øresund. Der hvor isranden har været stationær i længere tid f.eks. efter episoder med genfremstød og hurtig udstømning, opstod smalle strøg med randmoræner, hvor flere tunneldale har haft udløb og smeltevandstrømme fortsatte deres løb gennem dale og over flodsletter.

**Fig. 37.** Bælthav Isstrømmens landskabsformer i NØ-Sjælland. Udbredelsen af fremtrædende landskabsformer er knyttet til forskellige stadier i den aktive gletsjers gradvise tilbagesmeltning fra Kattegat til Øresund.

Under den gradvise tilbagesmeltning i forbindelse med isstrømmens opbremsning og endelige stagnation, opstod åse, hvor smeltevand var strømmet gennem dødisen og yderligere afsmeltning førte til afsætning af morænerygge. Disse terræformer udgør tilsammen et karakteristisk element blandt en bred suite af landskabsformer, der knytter sig til aflejring i overgangen mellem gletsjerens aktive tilbagesmeltning og nedsmeltning af dødis.

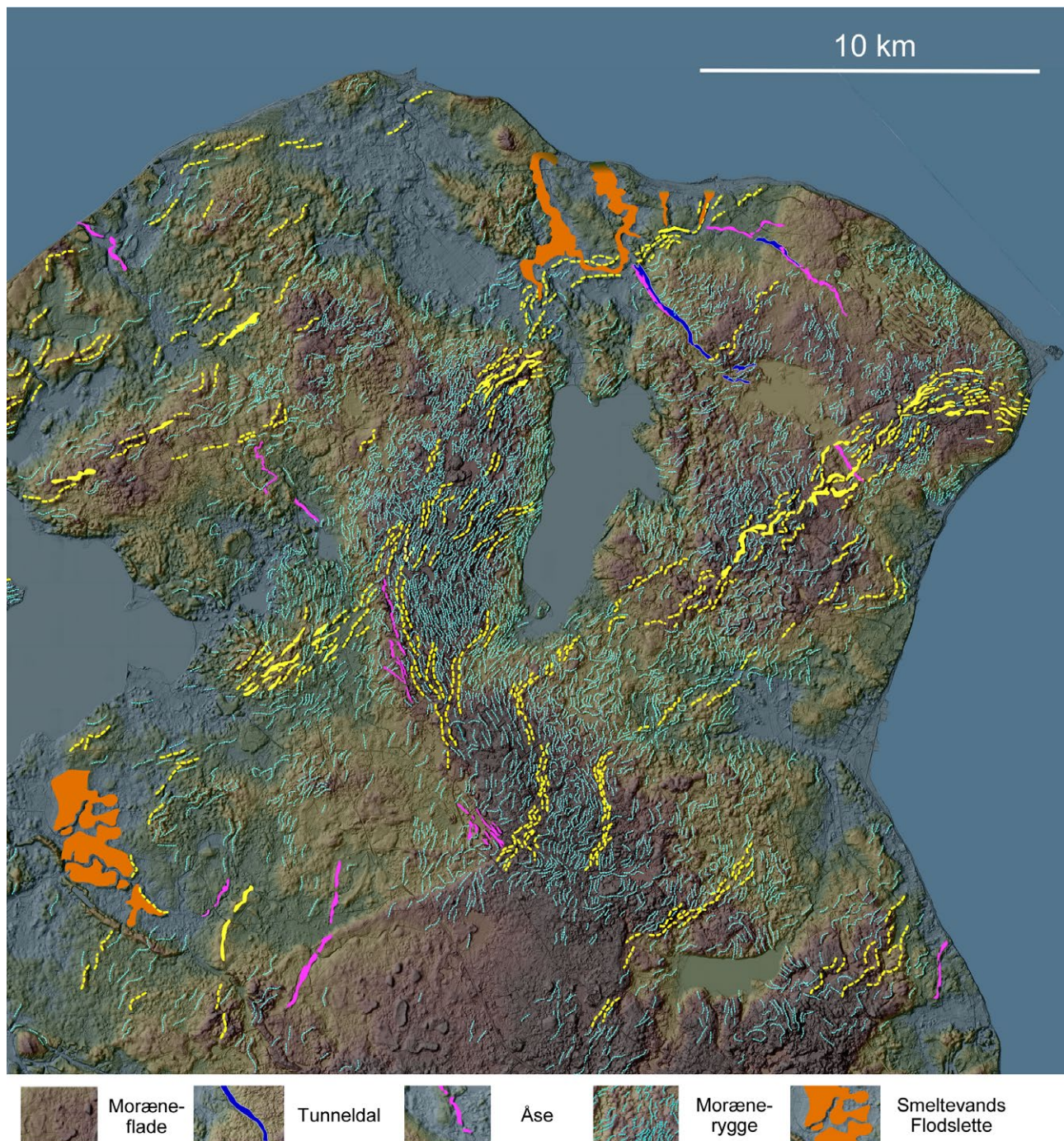




Flere zoner med israndsdannelser slynger sig gennem NØ-Sjælland (Houmark-Nielsen 2019). Ældst er randmorænerne gennem Halsnæs forbi Rågelejeegnen til området vest for Gilleleje. Et yngre stadie løber fra Arrenæs gennem Helsingeområdet mod Søborg Søs nordlige udløb. Bag disse israndszoner ligger et par åse eller ås-lignende bakkerygge omtrent vinkelret på randmoræner og morænevolde. Åsene og deres tilknytning til isskjoldets afsmeltningsskudier er behandlet af Andersen (1950), som kobler dem til et regionalt NV-SØ

orienteret åsstrøg dannet under det seneste isdækkes afsmeltning.

Et fremtrædende bælte af israndsdannelser løber syd om Arresø gennem Gribskov og den snævre passage mellem Esrum og Søborg Sø og videre langs de lave israndsbakker omkring Horneby til Hornbæk. Terrænformerne veksler mellem sammenskubbede pushmoræner, der når højder på knap 70 meter over havet omkring Lodsbakke i den nordlige del af Gribskov til lave få meter høje mindre israndsbakker. Mellem





Søborg Sø og Hornbæk er smeltevand, der aflejrede Horneby Ås og Havreholm Ås (Fig. 37), efter udløb fra isranden flydt gennem Esum Ådal og Pandehave Ådal; lavninger der ligger mellem de ældre isandsbækker. Et lignende isandsforløb har været foreslået af Gregersen (1986), der knytter et formodet isandsbælte fra Hornbækegnen på tværs af Pandehave og Esum Ådale til det isandsforløb, som Andersen (1950) har skitseret mellem Rågeleje til egnen nord om Søborg Sø; et isandsforløb der ikke har kunnet genfindes i senere landskabsanalyser.

Syd for Arresø, hvor randområdet fra egnen omkring Tulstrup bøjer i sydlig retning, opstod en smeltevandsslette i dødisen tæt på Strø-åsen, ligesom der i baglandet dannedes mindre ås-lignende bakker foruden den fem km lange ås 'Langebjerg', der har ført smeltevand mod nord over Attemoseskrænten for at udmunde i dødisområdet nord for terrænskrænten. En efterfølgende isandszone løber i Gribskovbakkernes vestlige udkant mod Hillerød. De nordlige Hillerødåse kunne være knyttet til smeltevandssloder, der løb langs dette isandsstrøg øst for Tulstrup. Åsene syd for Hillerød, hvor morænevolde er lagt næsten vinkelret på åsene dog uden at overskride disse, synes at have en mere dunkel oprindelse, enten i den Østjyske Isstrøms dødismasser eller, ved at være afsat af smeltevand, der løb nordpå, for at flette sammen med de nordlige Hillerødåse under Bælthavisens afsmeltning. De slyngende morænevolde i Gribskov og egnen omkring Store Dyrehave ligger som et bølget tæppe oven på de store opstablede sedimentskiver fra de tidligere isstrømme. Voldene ligger bundtet i et mønster, der synes at være dannet ved gentagne oscillationer af tungeformede isfremstød, der fra østlige og sydøstlige retninger har skubbet sig ind i de tidligere dannede og foranliggende morænebælter. Nogle morænevolde, der afbrydes ved mødet med bredden af Esum Sø, synes endda at kunne have fortsat ud i og tværs over lavningen for at slutte sig til tilsvarende rygge nord for Fredensborg. Dette fordrer imidlertid, at søbassinet f.eks. skulle have været opfyldt af dødismasser, hvorfor de krydsende morænevolde skulle være gået til grunde, da dødisen i søen smeltede bort.

Et endnu yngre og markant isandsbælte strækker sig fra Helsingør gennem Fredensborg, hvor det drejer mod syd for at forsvinde ved roden af Hillerødåsene omkring Hammersholt (Fig. 37). Denne isandszone og de bagved liggende randdannelser markerer den yderste del af Øresundsgletsjerens udbredelsesområde (Fig. 13). Isandsområdet syd for Gurre Sø er over lange stræk formet som en perlerække af sammenflettede nærmest hesteskoformede bakker, hvor der på indersiden mod øst findes lavninger efter bortsmeltede dødisklumper.

De yngste randdannelser findes i bakkelandet mellem Sjælsø og Vedbæk, hvor Hørsholms-åsen, af

samme beskaffenhed som Hillerød-åsene (Rørdam 1899), er mundet ud langs et af Øresundsgletsjerens afsmeltningssstadier, der via Hven har kunnet kobles sammen med et tilsvarende isandsstadiet i Vestsåne, Lund Morænerne (Regnéll *et al.* 2023).

### Fra aktiv til død gletsjeris

Blandt mange andre var området omkring Tikøb og Kvistgård indhyllet i en dyne af stillestående gletsjeris. Det indefrosne materiale blev under afsmeltningen via smeltevandssloder ført til de mange lavninger på isens overflade, hvor grus, sand og ler blev aflejret i isdæmmede søer. Mens søerne blev dybere og bredere, grundet smeltning fra bunden og siderne, blev stadigt flere lag af sediment ophobet i de mange isolerede bassiner. Landskabet er i dag overstrøet med dødisbakker, dannet af bundsedymenter fra de isdæmmede søer og gennemhullet af lavninger dannet ved indsykning af begravet gletsjeris (Fig. 38). Øresundsgletsjerens randdannelser afskærer næsten de ældre randmoræner langs højderyggen nær Kvistgård samtidig med, at de sammen med morænerygge nærmest smyger sig rundt blandt nyligt fremsmeltede issøbakker og tilbageværende isklumper. Fra udløbet af Gurre Ås ved isranden er smeltevand fra den bagved liggende dødis skyllet ud i den delvis isfyldte Gurre Sø's lavning, mens smeltevand fra dødisområderne omkring Tikøb

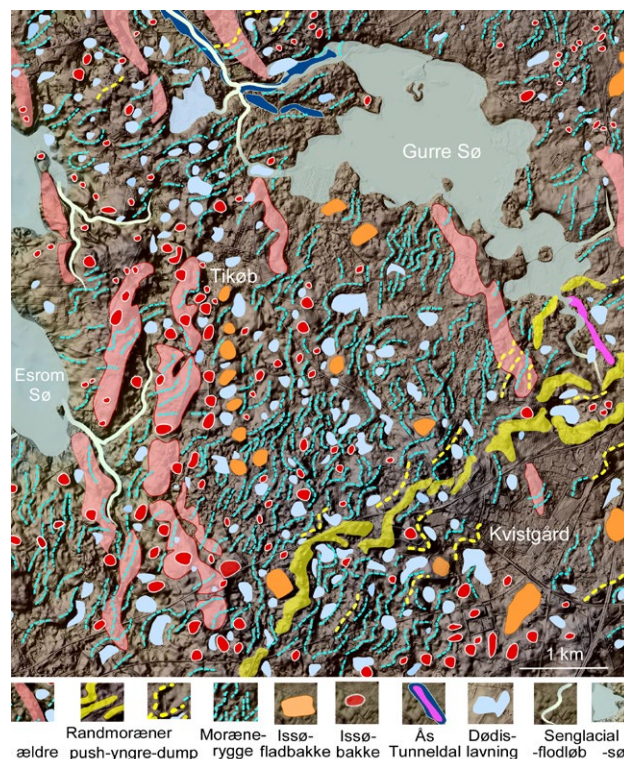


Fig. 38. Det sammensatte istidslandskabet mellem Esum Sø, Gurre og Kvistgård.

løb til den isdæmmede Esrum Issø. Mens moræneryggen er lagt med retninger efter Bælthavens randdannelser, synes mange issøer og fladbakker at være lagt i rækker, der følger orienteringen af den Østjyske Isstrøms randmoræner og dødisdækkede dalstrøg. Dette tyder på, at dødis fra det ældre isdække har været medvirkende til lokalisering af dødislandskabets terrænformer.

## Senglacial tid

Efter Bælthav Isstrømmen havde forladt Øresundsområdet, begyndte den endelige nedsmeltning af de store mængder dødis, der var efterladt af begge de to seneste isdækker. Under denne proces opstod i Senglacialtiden den mosaik af dødislandskaber, der er så veludviklet i den nordøstlige del af Sjælland. Dette sidste afsnit af Weichselistiden er løst defineret, som tiden fra den aktive gletsjeris forsvinden til den endelige bortsmeltning af de sidste dødisrester og indvandringen af den åbne pionerskov for omkring 11.700 år siden (Fig. 4). Senglacialtiden begynder således tidligere i Østjylland end i NØ-Sjælland men afsluttes nogenlunde samtidig.

For omkring 15.000 år siden i perioden Ældste Dryas stod gletsjerfonten tæt under den svenske vestkyst, hvilket gav plads til Yoldia-havets indtrængen dybt ned gennem Kattegat til Nordøstsjællands kystegne (Fig. 39). Samtidig var Øresundsgletsjeren på vej ud af den sydvestlige del af Østersøen. I selskab med dødisens nedsmeltning havde en kuldetolerant buskhede et par tusind år senere under Bølling-Allerød opvarmningen slået rod i det unge og ustabile istidslandskab (Noe-Nygaard *et al.* 2017). Koldere klima medførte imidlertid tilbagekomst af arktiske forhold under Yngre Dryas umiddelbart inden sidste istids

afslutning. Det ustabile klima fortsatte en tid ind i Holocæn, men nu under varmere forhold. Isskjoldets tilbagesmeltning medførte, at en stor isdæmmed smeltvandssø, den Baltiske Issø, bredte sig fra syd op gennem Østersølavningen. Den globale havstigning kunne ikke følge med den kraftige landhævning i de tidligere isdækkede områder og Yoldia-havet blev fortrængt fra det danske område, hvilket er med til at definere fastlandstidens begyndelse.

Smeltning af dødis, afsnøret fra områder hvor isranden tidligere gjorde ophold, og som førte til dannelse af rækker af morænerygge, blev begyndelsen på de senglaciale landskabers opståen. Store arealer med issøbakker og fladbakker kom til syne, da bundsedymenter fra isdæmmede søer smeltede fri af dødisdækket. Også ringformede morænevolde dukkede frem, hvoraf nogle nærmest sætter hegn rundt om fladbakker og issøbakker, mens andre omkranser dødislavninger opstået omkring isolerede dødispartier. Større smeltvandssøer hvis bundlag var skyllet ud af de omgivne istidsaflejringer og floddale, med dimensioner der langt overgår de åer og grøfter, der i dag findes i NØ-Sjælland, indgår i Senglacialtidens landskaber.

### Dødismorænen øst for Hillerød

Som nedsmeltningen tog fart, dukkede endnu et element i dødislandskabet efterhånden frem, nemlig de langstrakte morænerygge. Mange af de få meter høje bakkekamme løber i foretrukne retninger efter et regionalt mønster anlagt under det aktive isskjolds tilbagesmeltning, andre ligger mere kaotisk spredt i landskabet. På den bølgede moræneflade bag de store randmoræner i Hillerøds østlige udkant findes et landskab langs Isterødvejen mellem Grønholt og Store Dyrehave, hvor utallige og isolerede småsøer uden afløb veksler med småbakker og issøfladbakker, hvor imellem mindre morænerygge

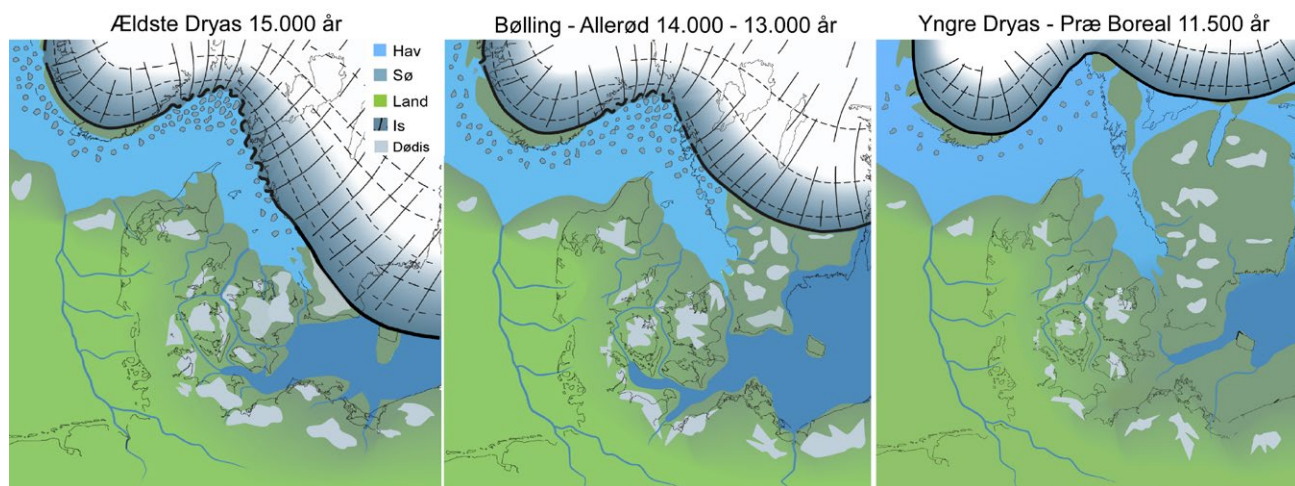


Fig. 39. Det sydsandinaviske område i Senglacial Tid. Efter Houmark-Nielsen *et al.* (2017).



tilsyneladende slingrer rundt i tilfældige retninger (Fig. 40). Centralt i området omkranser de slyngede volde lavninger i terrænet eller bugter sig udenom issøbakker. De afløbsløse lavninger er formet efter smeltede klumper af is, de sidste rester af det tidligere dødisdække. Studier af dødisnedsmeltning i Island (Kjær & Krüger 2001) har sandsynliggjort, at voldene på morænefladen er opstået rundt om opragende dødispartier, der ved smeltning fra overflade og sider har sluppet sin last af morænemateriale, der derefter er skredet eller flydt som stenede slamstrømme ned ad siderne for at lægge sig for foden af isklumperne. Også omkring de større issøfladbakker ligger morænevolde, der er dannet ved smeltning af den is, der har udgjort søernes bredder, og som i dag krummer sig om bakkernes sider. Da isen smeltede helt bort, fremkom et landskab med voldkransede huller og lavninger og issøbakker, hvoraf enkelte er kollapsede og sunket ind i midten på grund af smeltede dødisklumper begravet under den tidligere søbund. Dette forløb af nedsmeltning og aflejring har bidraget til dannelse af dødislandskabets karakteristiske formverden.

### Et sammensat landskab omkring Fredensborg

Øst for Esrum Sø's lavning omkring Fredensborg (Fig. 41) kan landskabet stort set opdeles i to terræner. Det ene er en moræneflade, et højtliggende lettere bulet plateau omkring Fredensborg og Asminderød, der for det meste er dækket af moræneler. Øst og syd herfor findes et andet, lavere liggende og bølget dødislandskab, hvor talrige langstrakte morænerygge svinger i foretrukne retninger fra nordøst mod sydvest. Dødisområdet er for det meste sandet i overfladen, og karakteriseres desuden af mange issøbakker, enkelte fladbakker og en større mængde dødislavninger. Flere

dybt nedskårne erosionskløfter, der har ledt smeltvand fra dødisområderne i øst ud i den senglaciale 'Esrum Issø', gennemskærer den højtliggende moræneflade, ligesom smeltetvandet har gravet en større kløft fra Grønholt Vang mod Sørup, der har afdrænet området med de store issøfladbakker.

Længst i nord langs søbredden findes nogle retlinede dale, hvis oprindelse ikke stemmer overens med områdets øvrige landskabselementer. Disse dale kunne være resultatet af større udskridninger af jordmasser, da Esrum Sø blev fri for den massive mængde dødis, som i begyndelsen af Senglacialtid fyldte det meste af det nuværende søbassin. En anden forklaring på dalenes oprindelse kunne skyldes mulige bevægelser i undergrundens store forkastninger, der iflg. Boldreel & Pedersen (2024) har været aktive i Postglacialtid.

### Kæmpesten i dødisen smelter frem

I de dele af NØ-Sjælland, der kun har været sparsomt opdyrket i nyere tid, træder de oprindelige landskabsformer tydeligt frem, ligesom der her stadig findes en snes store vandreblokke, som på lykkelig vis har undgået folks trang til at slå store sten i stykker (GEUS 2024b). En håndfuld af disse ligger på deres oprindelige plads og det omtrentlige tidsrum for hvornår de smeltede ud af dødisen for så at blive udsat for vind og vejr, har for norges vedkommende kunnet bestemmes (Houmark-Nielsen 2012). Det er foregået ved hjælp af kosmogen eksponerings datering, hvor mængden af isotoper, dannet ved kosmisk stråling i stenenes overflade, anses for proportional med tiden der er gået, siden stenene smeltede frem. Dette gælder to sten fra Grib Skov, kastestenen ved Stenholt Mølle og Pengestenen i det nordlige Grib-skov (Fig. 42). Aldersbestemmelser har vist, at de

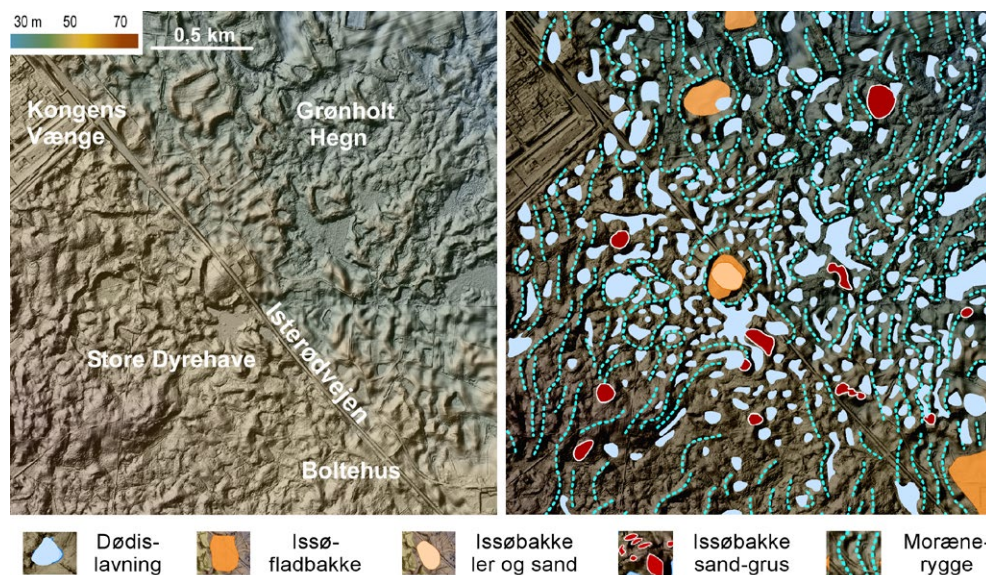


Fig. 40. Dødislandskab omkring det østlige Store Dyrehave og Grønholt Hegn.



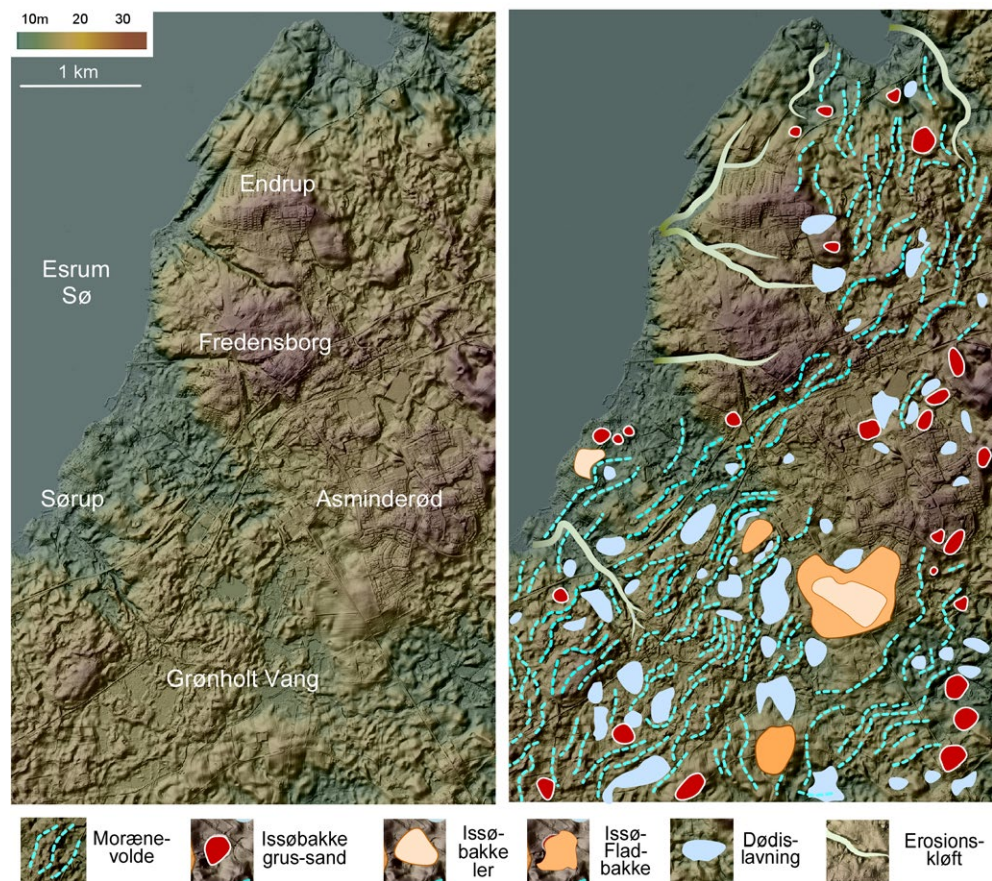


Fig. 41. Moræneflade og dødislandskab i Fredensborg og omegn.



Fig. 42. Pengestenen mellem Haregab og Esrum Sø i Gribskov er en båndet gnejs, der måler 3 m × 3 m og mindst 1,5 m i højden. Den smeltede ud af isdækket for ca. 17.000 til 18.000 år siden (Houmark-Nielsen 2012). Foto: M. Houmark-Nielsen (2008).



må være smeltet ud af isdækket for mellem 19.000 og 17.000 år siden. Selvom der er en del usikkerhed indbygget i disse dateringer, er alderne af kæmpesten i Nordøstsjælland i overensstemmelse med de aldre for afsmeltningen, der er opnået ved hjælp af andre metoder (Houmark-Nielsen *et al.* 2012).

## De store issøfladbakker

Dødislandskabets signatur er dels dødishuller og afløbssløse lavninger opstået, hvor begravet dødis er smeltet; dels større eller mindre issøbakker, der dannes, hvor en sø i dødisen er blevet udfyldt med gletsjerens sedimenter. Issøfladbakker har samme oprindelse, men her har dødis i det omgivne landskab gennem længere tid udgjort bredderne rundt om større isdæmmede søer, som fortrinsvis blev opfyldt af ler og sand leveret af smeltevand. I flere tilfælde er søernes areal vokset, mens vandstanden i takt hermed er sænket, efterhånden som dødisen smeltede langs bredderne og i bunden. De store søers endeligt markeres ofte af erosionskløfter opstået ved dødisens sammenbrud, hvor flodløb har skåret sig ned i den efterhånden frilagte søbund samtidig med, at smeltevand er skyllet fra søernes midte ud i det omgivne terræn.

Lavninger i overfladen af en gletsjer opstår f.eks. hvor spalter og andre åbninger danner smeltevandsfyldte fordybninger eller, hvor huler dybere nede i isen bryder sammen, og taget styrter ned. Det rindende vand vil forøge smeltningen langs hulrummenes sider, hvorved spalter og huller uddybes og forstørres. Smeltning fra oven og indefra bevirker, at der opstår større lavninger på isens overflade, lavninger som hele tiden uddybes ved smeltning langs bredderne og indsynkning, og som bliver til søer fyldt med smeltevand. Hvis gletsjeren er overgået til dødisstadiet og tilmed tilstrækkelig beskidt og fyldt med moræne-

materiale, vil dette afsættes på bunden af bassinerne, enten som mudder ved udfældning fra suspension eller som sand og grus via bundstrømme og langs bredderne nær floders tilløb. Foregår transport og aflejring uden sortering via rindende smeltevand, vil det optøede materiale i form af stenet og sandet mudder kunne glide som tyngdestrømme ud i søerne og medvirke til opfyldningen af lavningerne i isen.

Strøet som med løs hånd ligger små, isolerede issøbakker jævnt fordelt i det meste af NØ-Sjælland (Fig. 43). De består for det meste af sand og grus, mens andre har et mere variabelt indhold af både grus, sand og mudder. Småbakkerne har nogen steder en tendens til at ligge i rækker parallelt med moræneryggen, og de er sandsynligvis opstået i dødis søer langs sprækker og lavninger i samspil med dannelsen af de lavninger, hvorfra moræneryggen senere smeltede frem.

I de nedsmeltende dødismasser opstod også større koncentrationer af brede issøer f.eks. omkring Helsingør, Gribskov, i Store Dyrehaves omgivelser og ved Nivå samt på morænefladen omkring Allerød og Farum. Dertil kommer de større issøfladbakker omkring Annisse og Mårup, der ophørte med at eksistere ved dødisens sammenbrud med hurtig aftapning til følge. Nogle af de store fladbakker i Gribskov, omkring Nivå og Allerød, der har været udsat for trinvis nedsmeltning og udvidelse af søernes areal, har desuden kunnet tidsfæstes nærmere i den senglaciale kronologi.

### Dødislandskabet omkring Annisse – Tvingsbakke og Solbjerg Engsø

Tvingsbakke ved Annisse Nord er en issøfladbakke hævet 10–15 meter over det omgivne landskab, mens Solbjerg Engsø ligger i en fladbundet dødislavning gennemstrømmet af Pøleå (Fig. 44). Overalt i det bakkede landskab findes afrundede og isolerede mindre issøbakker, der har sin oprindelse i lavninger i dødisen fyldt med smeltevand.

Tvingsbakke er aflejret i en af de største isdæmmede

**Fig. 43.** Dødislandskab med issøbakke ved Pibe Mølle. Foto M. Houmark-Nielsen (2022).



søer i NØ-Sjælland med en diameter på ca. 1 kilometer omkranset af mindst 20 meter høje isvægge. Issedimenterne ligger i tre, næsten ringformede bælter med grus yderst langs de tidligere bredder, herefter sand og inderst i bassinet er afsat lamineret ler. Søens omgivelser har været under vedvarende nedsmeltning, og på et tidspunkt brød dele af væggene langs bredderne sammen, og søens vand gnavede sig herefter ned gennem den nordlige bred og fandt vej nord om issøens sedimentpakke til sammenløbet med smeltevandsflo- den fra Solbjerg Engso. Søen opstod i en dødislavning, der fik tilført vandmasser fra dødisområderne vest for Gribskov, som et led i det senglaciale dræningssystem,

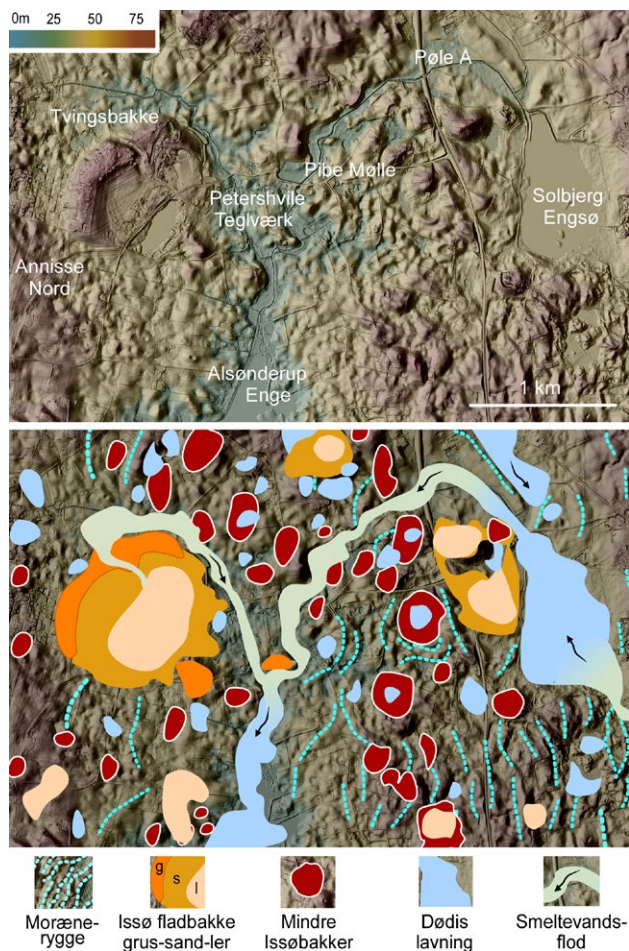


Fig. 44. Dødisområde omkring Tvingsbakke og Solbjerg Engso med fladbakker, issøbakker og dødishuller.

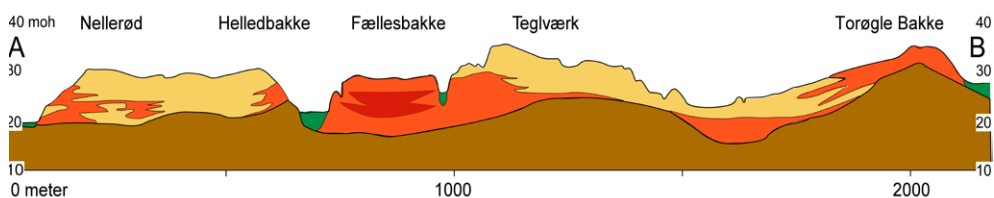
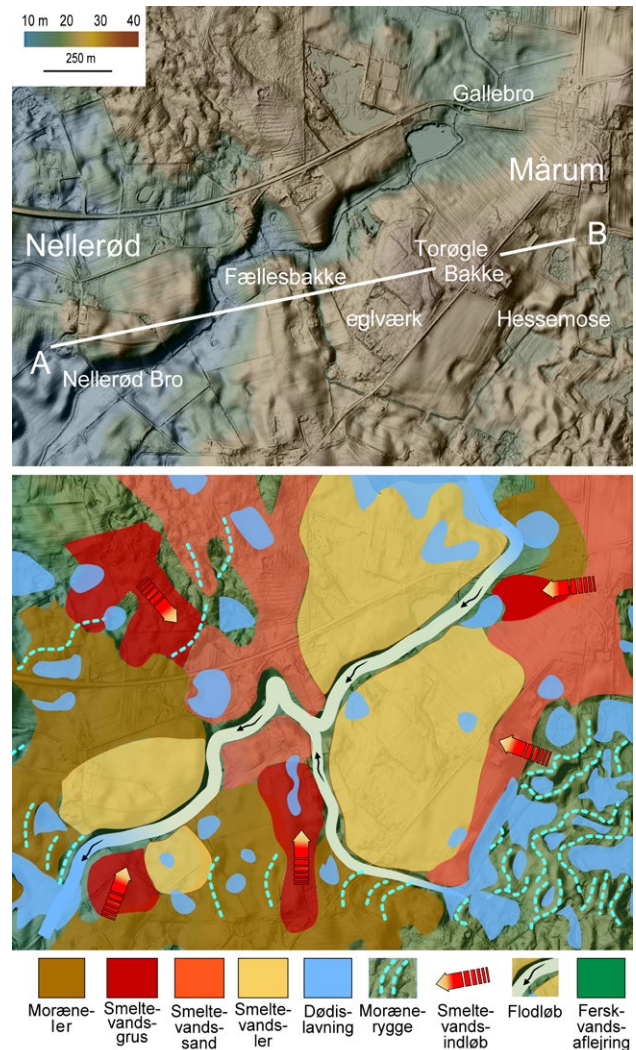


Fig. 45. Landskabskort og geologisk profil gennem issøfladbakker mellem Nellerød og Mårum. Øverst: Terrænmodel med lokalisering af profil A-B vist nederst. Efter Rørdam (1899), Hansen (1940) og Region Hovedstaden (2015).

der førte smeltevand gennem Alsønderup Enge til bassinet i Arresø. Mindre dødishuller findes mellem issøbakkerne, hvoraf nogle beliggende i selve bakkerne viser, at isklumper begravet under bunden af søerne først smeltede ud efter bakkernes dannelse.

### Fladbakkerne omkring Mårum

Mellem Nellerød og Mårum ligger nogle større fladbakker, der tilhører de centrale dele af et regionalt issø-kompleks mellem Gribskov og Helsingør (Fig. 45). Ved hjælp af geologisk jordartskortlægning og





boringer i bakkerne har et geologisk profil gennem bakkelandet kunnet konstrueres, med henblik på at vurdere mulighederne for råstofindvinding (Region Hovedstaden 2015). Det knap 2,5 km lange profilsnit illustrerer, hvordan issøsedimenterne er afsat oven på en bund af moræneler og, at dødis må have udgjort issøens bredder. Lerets nedsunkne overflade vest for Mårum viser sammen med talrige dødislavninger i hele søens område, at selve søaflejringerne visse steder også må have hvilet på dødis.

Ved de tidligere indløb består aflejringerne først og fremmest af sand og grus, som f.eks. ved Fællesbakke. Hvor forholdene har været mindre turbulente, afsattes sand, der i det næsten stillestående vand i søens midte har blandet sig med issøler udfældet fra suspension. Ved Torøgle Bakke fandtes et indløb østfra, der fik vand fra dødisområdet i Hessemose og, hvor sand i vekslende forløb med lagdelt mudder grænser op til selve hovedforekomsten af smeltevandssler, der sine steder opnår en samlet tykkelse på mere end 6 m (Hansen 1940). Leret er lamineret, dvs. at der er en variation mellem sandblandet ler i nederst med gradvis overgang til mere rent ler opefter fordelt i blot få millimeter tykke lag. Disse smålag optræder ofte i bundter á 20–70 cm i tykkelse, og det har været diskuteret, hvorvidt denne rytmiske aflejringsform kunne afspejle årstidsvariationer i afsmeltningsforløbet (Hansen 1940).

Mens de store dødisdækker langs søens bredder blev brudt ned, lakkede issøen til omgivelserne, vandstanden faldt og de tidligere søbunde stod til slut frem i dagens lys. Indløb af smeltevand til den tidligere isdæmmede sø omkring Mårum kom efterhånden kun fra dødisresterne i Maglemose og Hessemose, hvorfra smeltevandssfloder kunne erodere søens bundlag. Et flodløb fra Hessemose via sammenløb med hovedvandløbet fra Maglemose var med til at skære issøsedimenterne op i mindre fladbakker. Smeltevandets erosion af den mindst 10 meter dybe og 70–100 m brede floddal mellem Gallebro til Nellerød Bro fortsatte ind til slutningen af Senglacial, hvorefter mindre åløb overtog vandføringen, efter den sidste dødis var smeltet bort.

### Dødislandskabet i Burevang, Gribskov

Mellem morænerygge og mindre randmoræner ligger få kilometer øst for Mårum i Gribskavs nordlige del en mængde mindre issøbakker. De udgør nogle af de højest beliggende dele af landskabet, og bakkerne har deres oprindelse i nedsmeltning af dødisdækket vest for Esrum Sø (Hansen 1981). Et par områder med adskillige store issøbakker omkring Burevang nord for Maglemose skiller sig ud fra de øvrige dele af landskabet (Fig. 46). De er en del af det større kompleks med issøfladbakker, der dækker den centrale del af NØ-Sjælland. Fladbakkerne i Gribskov har dog det særlige

træk, at de består af flere generationer af issødannelser, der med faldende højde af bakkernes flade toppe, vidner om flere omgange med opfyldning og tømning af isdæmmede søer, efterhånden som dødisbassinerne voksede i størrelse og vandstanden i søerne samtidig var faldende. Med dødisens endelige bortsmeltning fremkom den store mængde dødishuller og større lavninger, der i dag rummer sø- og moseaflejringer med dyre og planterester, der gemmer på et rigt og detaljeret arkiv over klima- og miljøforandringer fra Senglacialtid til i dag (Jessen 1920).

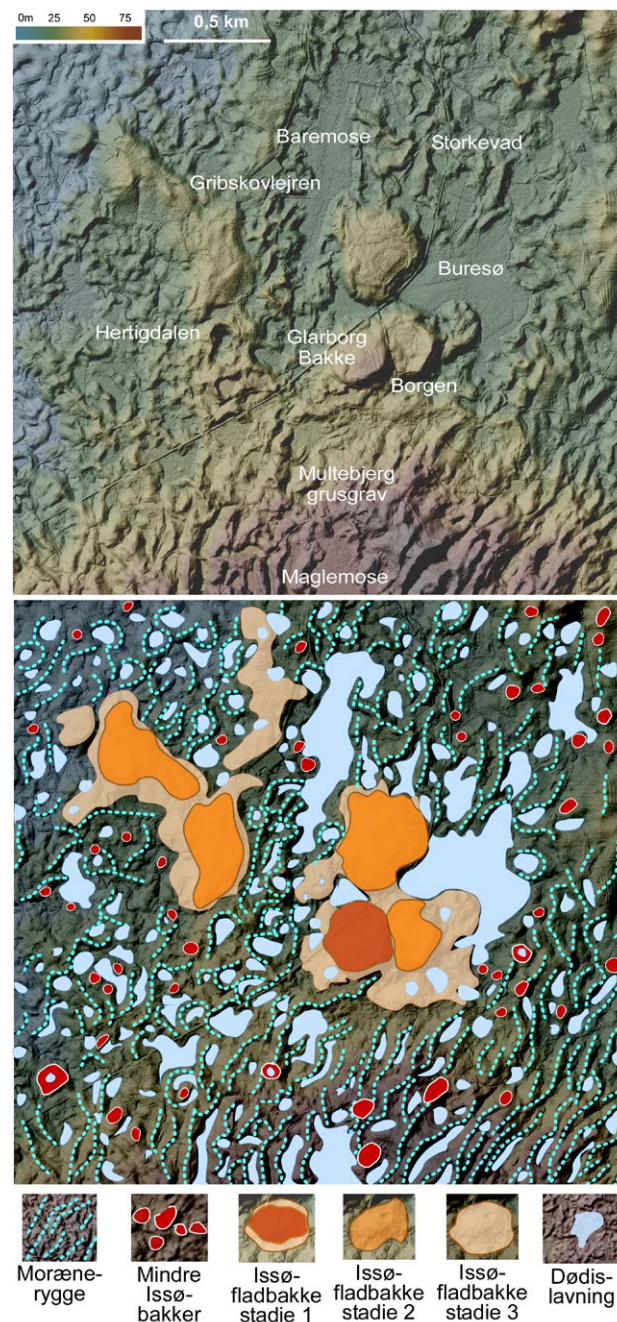


Fig. 46. Istidslandskabet i Burevang, Gribskov.



Landskabet i Burevang består af flere forskellige terrænformer alle med rod i nedsmeltning af et stort dødisdække (Fig. 46). Generelt præges landskabet af nord-syd liggende 10–15 meter høje og op til 50 meter brede morænerygge. De rejser sig fra de omgivende mosefyldte lavninger, der er fyldt med 8–10 meter tykke lag af tørv og dynd, hvilket lægger en del meter til ryggenes tilsyneladende højde. Ind imellem og oven i ryggen ligger rækker af kraterlignende dødishuller omgivet af voldformede forhøjninger, hvoraf Hertugdalen er den mest fremtrædende med sine stejle sider og en dybde på 15 m. Ryggen nærmest bøjer af og undviger de talrige issøbakker i området. Her findes bl.a. de små afrundede 10–15 m høje issøbakker sammen med andre issødannelse nemlig de store fladbakker omkring Gribskovlejren og Buresø. Her er bl.a. tale om konsolbakker, der delvist læner sig op ad ældre issøbakker og hvis sedimenter er afsat af flere omgange, mens dødisen smeltede ned, bredderne sank sammen og søernes areal voksede.

Tydeligst er forholdene omkring Buresø. Her blev først søbunden i Glarborg Bakke afsat i en højde på lidt over 62 meter over havets overflade. Øst herfor når fladbakken Borgen en højde på 55 meter, mens den laveste, der rager ud i Buresø, har en højde på knap 50 meter (Fig. 47). Glarborg Bakke tilhører således det første stadie af issødannelse efterfulgt af Borgen og andre fladbakker med tilsvarende højder, mens de laveste fladbakker eller større plateauer, der kranser de højere fladbakker, tilhører den yngste og tredje fase i issøernes udvikling. Fra den begyndende nedsmeltning med enkelte mindre issøer på isens

overflade gik udviklingen over til en fase med flere større søer, der efterhånden blev flettet sammen på lavere og lavere niveau, og hvor bundsedimenter fra de første har stukket op over vandfladen på de efterfølgende. Med den endelige nedsmeltning dukkede de mindre spredtliggende issøbakker op samtidig med aflejringen af de sedimenter, der kom til at udgøre de langstrakte morænevolde. Historien afsluttedes med indsykning omkring huller og lavninger opstået over de sidste rester af smeltende død.

#### *Multebjerg, en nedlagt grusgrav i bakkelandet*

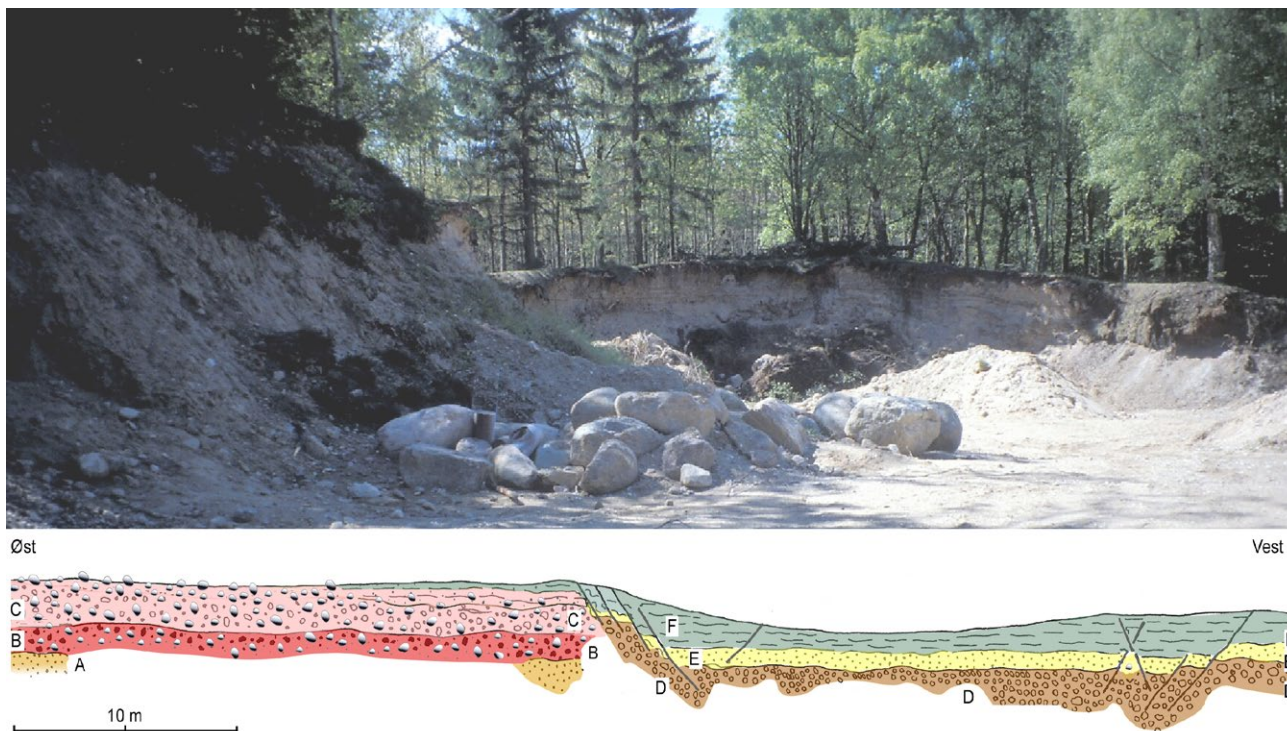
Et indblik i nedsmeltningshistorien har kunnet ses i den nu nedlagte grusgrav ved Multebjerg, i dag en shelterplads der ligger tæt under Gribskøvs højeste punkt på 89 meter over havet. Grusgraven var anlagt i siden på en af de langstrakte stenede og grusede morænerygge (Fig. 27). De isfremstød, der har givet ophav til gravens sedimenter, har efterladt forskellige sten og blokke, der tidligere lå i det afgravede område. De største sten i graven bestod af granit, gnejs og Kinnediabas fra det skandinaviske grundfjeldsområde. Blandt andre fremmede blokke, hvoraf nogle målte mere end 1 m, var også den kambriske Hardeberga sandsten med sine typiske gravegange efter bundlevende dyr og mindre stykker af kulholdige glimmersandsten begge fra Skåne. Stumper af den lokale undergrund bestående af flint og kalksten var også til stede.

I et optegnet profilsnit gennem graven kan landskabets udvikling aflæses (Fig. 48). Oven på smeltevandssand og grus (A) er lagt et par meter



Fig. 47. Den skovklædte issøbakke Borgen i Gribskov set fra øst. Buresøes lavning anes til venstre. Foto M. Houmark-Nielsen (2023).





**Fig. 48.** Grusgrav ved Møltbjerg i Gribskov. Øverst: Foto M. Houmark-Nielsen (2015). Nederst: Geologisk profil gennem grusgraven. Mod øst ses moræner og morænesand, mod vest flod og søsedimenter der er gennemsat af normalforkastninger (sorte streger) grundet indsynkning.

moræner (B), afsat af en gletsjer fra ØNØ, sandsynligvis den Østjyske Isstrøm. En mindre horisont af sand adskiller moræneret fra de oven liggende lag af stenet og blokrigt morænegrus (C) afsat af Bælthav Isstrømmen i forbindelse med afsnøring og opsplittning langs randen af gletsjeren, da den overgik til dødisstadiet. I dødisens aflange trug og lavninger aflejredes morænegrus og de smeltevands-sedimenter, der efter afsmeltningen stod frem som langstrakte morænevolde.

En vestgående smeltevandsstrøm har skåret sig ned i terrænet og aflejret stenet grus i grusgravens sydlige og lidt lavere del (D). Efterhånden som vandføringen aftog, blev grus og senere kun sand afsat i flodløbet (E). Imens sank aflejringerne under flodløbet ned på grund af smeltende dødis begravet i bakken. Den aflange sænkning, der herved opstod, ligger på flanken af ryggen med morænegrus, i den retning, som bakker og dale har i området omkring Møltbjerg. Mens indsynkningen fortsatte, var vandstrømmen aftaget så meget, at der i det tidligere flodløb var opstået en delvist isdækket sø, hvori der afsattes lagdelt sand og mudder. Aldersbestemmelser ved hjælp af luminiscensmetoden har givet søsedimenterne i toppen af lagfølgen en alder mellem 20.000 og 17.000 år (Houmark-Nielsen & Kjær 2003); en værdi lidt over det forventede, men tilstrækkelig

ung til at fastholde aflejring af sedimenterne til den ældre del af Senglacialtiden. Da den omgivende dødis smeltede, ophørte søen med at eksistere, og samtidig begyndte aflejring af søsedimenter i de nyligt opståede dødishuller, som f.eks. Maglemose, Brøndmose, Lille Gribsø og Esrum Sø.

### Issøaflejringer langs Øresund

I de nedsmeltende dødismasser i Øresundsgletsjerens bagland opstod talrige søer og lavninger, hvor sand og grus blev afsat for senere at stå frem som mindre, isolerede issøbakker eller større fladbakker med issøer. I Helsingør ligger i en højde af ca. 40 meter en bueformet issø-fladbakke umiddelbart bag randmorænerne ved Hestens Bakke mellem Prøvesten og Rørtang (Fig. 23). Sedimenterne nær bassinets nordlige rand består af lagdelt mudder og sand vekslende med lag af morænelignende diamikte sedimenter afsat af tyngdestrømme samt store sten rullet eller gledet ud i søen (Fig. 49). Issøens sedimenter ligger klistret op ad israndsterrænet som en konsolbakke, der har været afgrænset af dødis ud mod Øresundskysten.

### Issøerne ved Nivå

Inderst i Nivåbugten ligger en kilometer bred hvælvet issøfladbakke med en højde på knap 30 meter over



havet; bakkens indre består af lagdelt ler og sandet mudder (Fig. 50).

Issøleret omkring Niverød er for det meste opsprækket med ringe udviklet lagdeling og visse steder stærkt foldet og forkastet, hvilket skyldes sætning og udglidning i bakken, da søens bredder forsvandt



Fig. 49. Moræneler, lagdelt sand og mudder afsat nær bredden af en lavning i dødisen umiddelbart bag randmorænen ved Prøvesten nær Hestens Bakke, Helsingør. Spredte sten er ind i mellem faldet, rutsjet og gledet fra dødisen ud i søbassinet. Udgravning ved Prøvestenscenteret. Foto M. Houmark-Nielsen (1985).

(Milthers 1935; Richardt 1992). Issøfladbakken dækkes af tynde lag af moræneler og stenet mudder, der efter alt at dømme er smeltet ud i lavninger og sprækker på dødissens overflade, for senere, da isen endeligt brød sammen at blive aflejret via tyngdekraften som debrisstrømme fra søens bredder.

Da den store fladbakke var dukket frem i det dødissfyldte landskab, åbnedes et større isfrit og smeltevandsfyldt bassin rundt om issøbakken med vandspejl på lavere niveau, omkring 10-15 moh., hvor issøler stadig kunne aflejres. I den nye delvist isdæmmede sø afsattes lag af sandet mudder og ler, kaldet Nivå-ler, der adskiller sig fra leret i fladbakkerne ved at være uforstyrret og opdelt i bundter af meget vel-lagdelte smålag af finsand, der hver især går jævnt over i mudder og ler mod toppen (Hansen 1940). De to hovedingredienser i søaflejringerne, bestående af hhv. groft og fint materiale, er aflejret under perioder med vekslende indstrømning af smeltevand; jo kraftigere vandføring desto mere sand og omvendt.

Hansens undersøgelser af tilsvarende formodentlig rytmiske variationer i issøaflejringer på det meste af Sjælland og i Skåne havde til formål, at sammenføje disse i en samlet og kronologisk rækkefølge med henblik på, at koble afsmeltningen på Sjælland og Skåne med den fra den Baltiske Issø i Østersøen, men dette viste sig imidlertid ikke at kunne lade sig gøre. At der blandt lagene kunne være tale om nogen sæsonmæssig variation opstået ved høj sedimenttilførsel under forårsafsmeltning og lav eller intet input under tilfrysning om vinteren – altså egentlige varv – er dog ikke

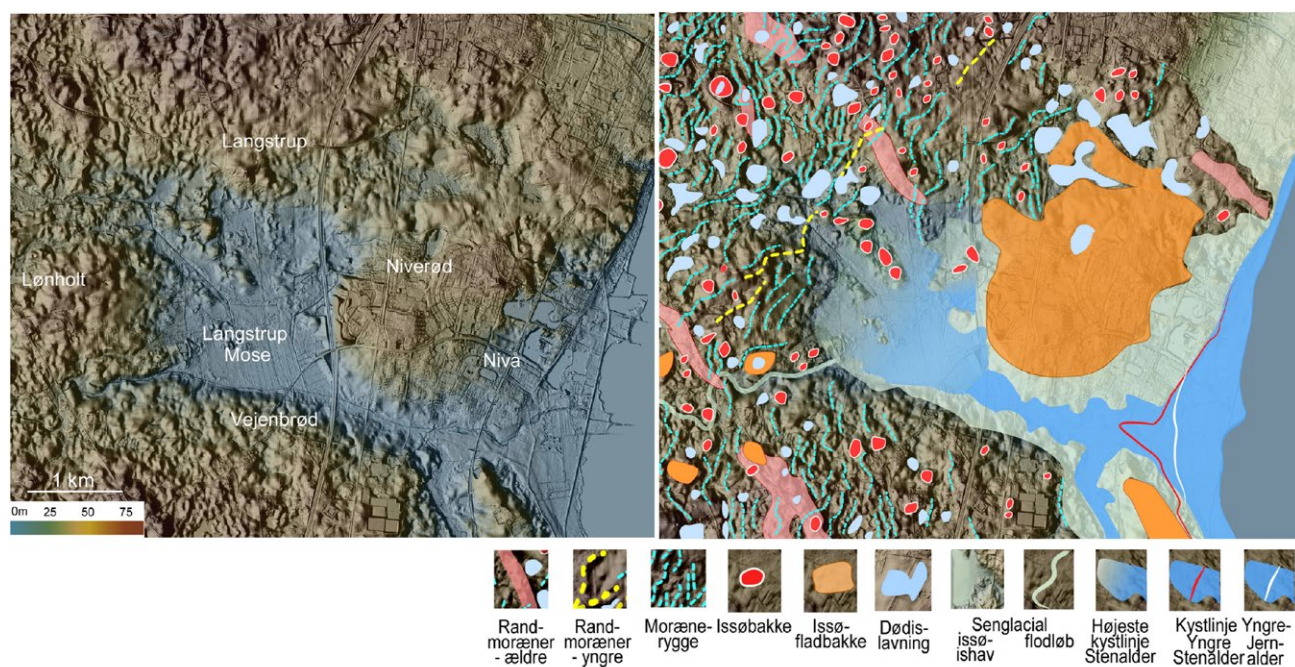
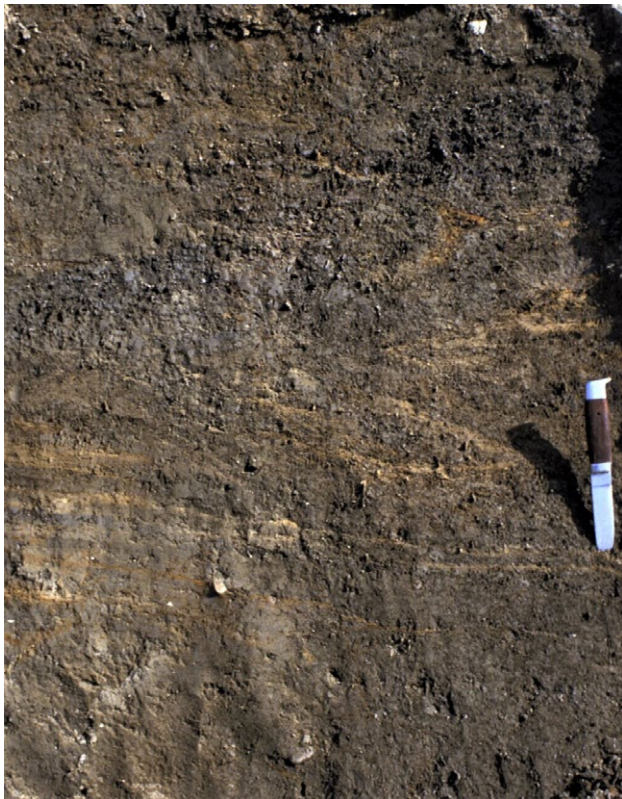


Fig. 50. Landskaberne omkring Nivå og Langstrup Mose.



udelukket, men tilfældig variation i smeltevandets tilløb kan helt have domineret opbygningen i smålagenes variation og deres sammenfletning i bundter. Desuden menes søernes levetid at have været stærkt varierende og sandsynligvis ret kortvarige, hvorfor muligheden for samhørighed mellem lagene fra én sø til en anden ikke har været til stede (Hansen 1940).

Det har været diskuteret heftigt, hvorvidt denne vekslen mellem finsand og ler har været styret af årstidsvariationer. Når det gælder varv, har man i Østersøens senglaciale ler aflejringer kunnet bruge variationer i lagdelingen som en kalender på samme måde som årringe i træer, hvorved en kronologi for isskjoldets afsmeltning op gennem Østersøen har kunnet etableres (Björck 1995; Lundqvist & Wohlfarth 2001). Dette skyldes at bassinet i Østersøen, der mod nord var opdæmnet langs randen af det smeltende isskjold, har fået stærkt varierende men årstidsreguleret sediment input herfra og de omgivne landmasser. Men det har imidlertid måttet afvises, at lagdelingen i danske issøaflejringer kan klassificeres som varv. Dette gælder også lagdelingen i Nivå-leret, selvom sedimentationen her og i andre issøer i nogen udstrækning afspejler en systematisk og tilbageven-



**Fig. 51.** Lagdelt og stenet mudder med foldede sandlag og klumper af moræneler aflejret oven på Nivåleret. Den midterste del af sedimentpakken er skredet ud eller skubbet i forbindelse med aflejring. Udgravning ved Snekkersten. Foto M. Houmark-Nielsen (1985).

dende variation i søernes materialetilførsel (Hansen 1940). Hvor lang tid det så har taget at aflejre Nivå-leret er uvist, men med en samlet tykkelse der sine steder overstiger 10 meter og med en aflejringshastighed på f.eks. 5 cm pr år, betyder det at Nivå-leret har kunnet afsættes på godt 200 år; med 10 cm om året på den halve tid og med 2,5 cm på den dobbelte (Richardt 1992).

Det lag af moræneler, der overlejrer Nivå-leret og som findes langs store dele af Øresundskysten, er betydeligt tykkere end det, der stedvis dækker issøbakken ved Niverød; det består af sandet, mudderblandet issøler med varierende stenhold og kaldes herhjemme Helsingør Diamikt (Fig. 51). Det moræneler-lignende dække ligger op til et niveau lidt over 20 meters højde, og det er formentlig afsat både fra lokalt dødis og af flydende isbjerge fra den afsmeltende Øresundsgletsjer (Houmark-Nielsen & Lagerlund 1987; Richardt 1992).

## Senglaciale søer og dødisens afvanding

I Senglacialtid smeltede de mange spredte dødis-masser ned, som hidtil havde ligget begravet under dødislandskabets overflade. Herved opstod bassiner med lavvandede smeltevandssøer i bunden af dale og større sænkninger i det efterhånden isfrie landskab, i takt med at dødisen smeltede. Disse lavninger, der ligger i niveau med det omgivne moræneland, blev udfyldt med lagdelte sand og mudderaflejringer, der i mange tilfælde er iblandet rester af den sparsomme arktiske pionervegetation, der så småt havde fæstet rod i den ustabile jordbund.

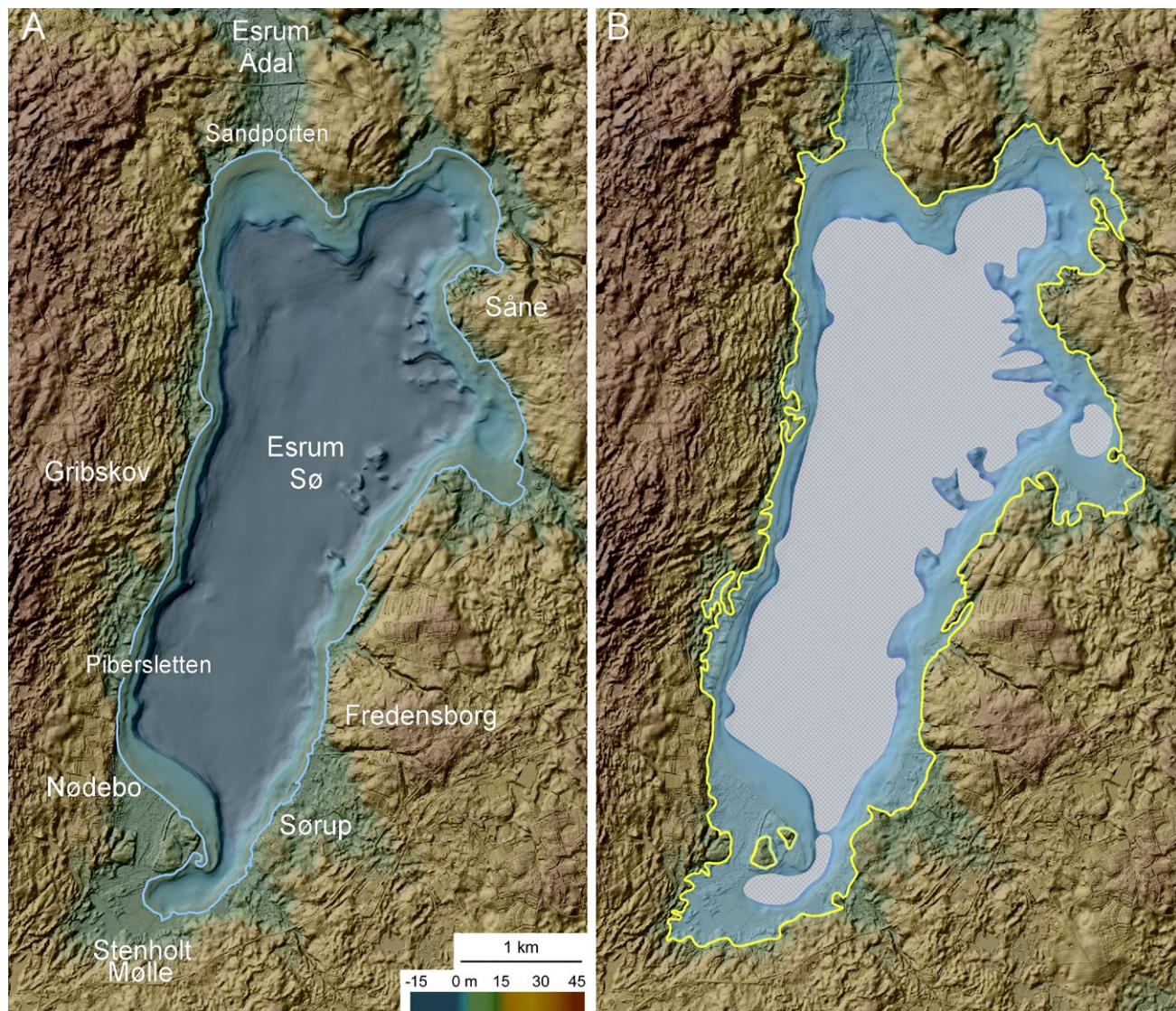
### Esrum Sø

Esrum Sø ligger i en nord-syd gående dyb dalsænke omgivet af moræneflade og dødislandskaber mod øst og Gribskovs israndsbakker mod vest. Søen ligger på indersiden af NØ-Sjællands store israndsdannelser og udgør sammen med de store lavninger, der huser Søborg Sø, Sjælsø og Furesøen, baglandet for NØ-Sjællands centrale bakkeryg (Fig. 1). Fratrukket en smal bræmme langs bredderne indtager bassinet en særstilling som en af de dybeste søer i landet, med en gennemsnitsdybde på 15–20 m og bunden liggende mere end 5 m under nuværende havniveau (Fig. 52). Søen får en mindre del af sit vand ved tilløb fra omgivelserne, mens hovedtilførslen sker fra dybe grundvandsmagasiner, hvor kalkholdigt vand siver op fra undergrunden i en nogenlunde konstant strøm. Med nye seismiske analyser er det foreslået, at Esrum Sø fandt sin endelige form i midten af Postglacialtid, idet sideværts forskydning langs forkastninger i undergrunden efter alt at dømme medførte indsynkning af bassinet og udglidning af de ældre postglaciale lag

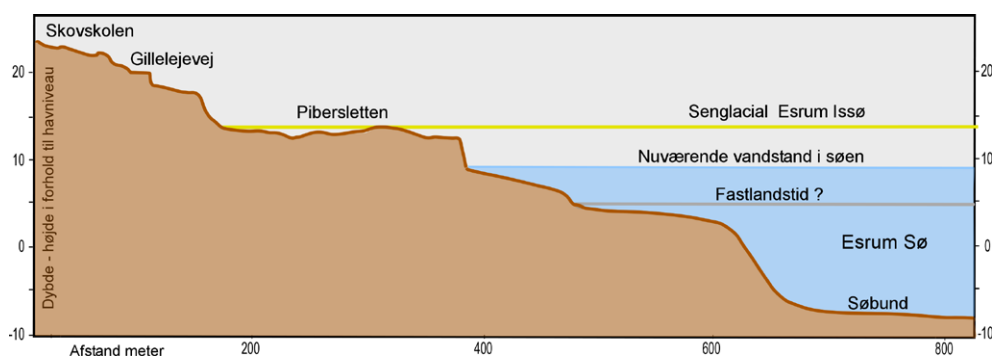


i søens bund (Boldreel & Pedersen 2024). De seismiske profiler opmålt over bunden af det meste af Esrum Sø giver dog ikke svar på selve den store lavnings oprindelse.

Søens bundrelief og terrasser langs bredderne giver et indtryk af bassinets vandstandsændringer siden sidste istids afslutning (Fig. 53). En opdæmmed tærskel omkring 9 meter over nuværende havniveau



**Fig. 52.** Kort over Esrum Sø og omegn. **A:** Søens nuværende udbredelse (blå streg) og dybdeforhold. **B:** Søens største udbredelse i Senglacial tid (gul streg) hvor dødis har udgjort bunden for de tidligste sedimenter skyllet ud fra omgivelserne.



**Fig. 53.** Terrænprofil gennem af landskabet omkring Pibersletten nord for Nødebo i den sydlige del af Esrum Sø.



ved Sandporten bestemmer søens nutidige vandstand og dermed også gennemløbet til Esum Ådal og videre mod Kattegat. En 5 til 10 meter høj skrænt nogle hundrede meter fra land rejser sig fra søbunden til et niveau svarende til et par meter over det nuværende havniveau. Skrænten kan have sin oprindelse i udbredelsen og formen af et større dødislegeme, der lå begravet i den store lavning.

På et tidspunkt i Senglacialtid har søen haft sit højeste vandspejl ca. 5 meter over det nuværende, og i søbunden, der i begyndelsen af bassinets levetid var fyldt med dødis, findes lerede og sandede aflejringer med tilsvarende rester af den senglaciale flora som i de øvrige af det omgivende terræns senglaciale søer. I forbindelse med den høje vandstand udvikledes mindre kystklinter og terrasser langs issøens bredder der, hvor erosionen var stærkest. De gamle kystskrænter, der ligger i en højde af 12–14 meter over havet (Fig. 52B), er bedst udviklet langs søens vestlige bred og især tydelige omkring Nødebo (Milthers 1935). Ligesom i nutiden afsattes også dengang strandsedimenter langs bredden af søen, og i perioden med højt vandspejl blev dele af den lave hylde langs den vestlige søbred aflejret. Ved Pibersletten lige neden for Skovskolen nord for

Nødebo når sandede og grusede strandsedimenter op til 14 meter over havet (Fig. 54), men også andre steder langs søbredden kan den højtliggende sø-terrasse ses. F.eks. ligger Søvejen, der løber langs Esum Søes vestlige bred, flere steder på strandterrassen eller neden for den tidligere kystskrænt. Milthers (1935) foreslog, at med en vandstand højt over tærsklen ved Sandporten ville vandet være strømmet ud af søen, hvis ikke en prop af dødis i Esum Ådals øvre løb havde forhindret udstrømning; en klassisk slutning, som er vanskelig at eftervise. Hvis imidlertid tærsklen ved Sandporten har stået højere i Senglacialtid end i dag, kan teorien om en prop af dødis i Ådalen bekræftes. Det står dog hen i det uvisse, hvorvidt eventuel indsykning af bassinet i midten af Postglacial tid, som foreslået af Boldreel & Pedersen (2024), kan have sænket tærskelhøjden med ca. 4 meter til et niveau, der flugter med den nuværende vandstand.

Hvordan Fastlandstidens lave havniveau har påvirket søens vandspejl er ikke klart, men det kan have været sænket i forhold til det nuværende. Tilstrømningen af grundvand til søen kan have varieret, men tærsklen har haft afgørende indflydelse på højden af søens vandspejl. Da tærsklen ved Sandporten er regu-



Fig. 54. Lille kystskrænt ved Pibersletten nedenfor Skovskolen i Nødebo med lagdelt sand og grus afsat langs bredden af Esum Issø i Senglacial tid. Foto N. Richter-Friis (2010).

leret og udbygget flere gange i Middelalderen og Nyere tid, har det ikke været muligt at finde vidnesbyrd om et lavere tærskelniveau end det nuværende. Der findes flere terrassehak i den lavvandede platform tæt på søens bredder, der tyder på lavere vandspejl end i dag, og her kan en mindre terrasse ca. 5 meter over nutidens havniveau godt være formet under Fastlandstidens eventuelt sænkede niveau (Fig. 53).

### Andre senglaciale søer

Boringer i talrige moser og tørvefyldte lavninger afslører, at de dybeste lag er afsat i Senglacialtid og består af ler og sand skyllet ud fra omgivelserne. Hertil hører de større søer som f.eks. Sjælsø, Gurre Sø og Søborg Sø, hvor senglacialt ler og sand markerer overgangen fra sidste istid til den postglaciale varmetid. Det samme gælder en række mindre tørvefyldte sænkninger og dødislavninger, hvor hyppige fund af finkornede lag med indehold af arktiske planterester viser, at de lokale dødisklumper var skrumpet så meget, at det gav plads for dannelsen af mindre ferskvandssøer. Det har gjort det muligt at udpege de mange senglaciale søbassiner i hele området. Det er højst sandsynligt, at dele af Arresø og de laveste dele af farvandet omkring NØ-Sjælland også har huset søer i Senglacialtid, men det har ikke været muligt at opspore data herom. Mange af disse søer har været forbundet af vandløb af betydeligt større dimensioner end nutidens åer og grøfter, der ofte findes i bunden af dale, hvis størrelse viser, at de må være dannet eller uddybet under forhold med væsentlig større vandføring end nutidens.

### Det senglaciale landskab

Det senglaciale landskab domineres af issøbakker, dødislavninger og større søbassiner opstået i forbindelse med nedsmeltning af store dødisdækker (Fig. 55), og deres udbredelse illustrerer, i hvor høj grad dødis har medvirket til dannelsen af det nordøstsjællandiske istidslandskab. Den inaktive gletsjeris blev efterladt af flere af de sidste store isstrømme fra Sen Weichsel og bestod både af dybt begravet is og en mosaik af dødisforekomster frit eksponeret i et nydannet morænelandskab. Dødisen var med sit indefrosne debris leverandør af alt fra dårligt sorteret moræneler afsat af tyngdestrømme til bedre sorteret grus, sand og mudder transporteret rundt i landskabet af smeltevand. De langstrakte morænerygge markerer en overgang fra landskabsformer med tilknytning til en vigende isrand til issøbakker og dødislavninger med oprindelse i den passive nedsmeltning, hvor sediment og landskaber ustandselig blev omlejret, flyttet og genafsat, indtil dødisen endelig var smeltet. Mange aflejringer og terrænformer bærer præg af passiv indsunkning og udglidning enten samtidig med aflejringen eller kort tid efter.

Uden nogen umiddelbar systematik er mindre issøbakker ofte bestående af sand og grus strøet i tætte klynger over det meste af NØ-Sjælland, men i tre områder er koncentrationen mere intens. Det drejer sig om Hornsherred og den vestligste del af Halsnæs, området omkring Helsingør og Gribskov samt øst for både Esrum Sø og Store Dyrehave. De op til kilometer store fladbakker ligger mere spredt, nogle gange i nær tilknytning til områder med mange små issøbakker og dødishuller, andre gange ret alene plastret f.eks. oven på morænefladen mellem Allerød og Lyngby. Fladbakkernes forekomster af lagdelt og lamineret issøler blev aflejret sammen med grovere materialer, der ofte er afsat nær søernes bredder især der, hvor smeltevandet havde indløb i søerne. De enkelte isdæmmede søer har nok haft en begrænset levetid, men issøer som sådan har sikkert eksisteret gennem det meste af Senglacialtiden, så længe der var dødis til stede. Efterhånden som nedsmeltningen skred frem, blev issøernes vandstand sænket og nye bassiner opstod på stadigt lavere niveau, mens de ældre blev tømt for vand, og de tidligere søbunde udsat for erosion.

Større og lavtliggende smeltevandssøer opstod i det efterhånden isfrie landskab, hvor der ligeledes afsattes sand og mudder fra det omgivne dødislandskab. Disse nedskylsbassiner gemmer ofte planterester fra Allerød og Yngre Dryas, der vidner om Senglacialtidens klimasvingninger. Afløb fra nogle af disse søer var efter alt at dømme for en tid blokeret af dødis, hvilket kunne opretholde et forholdsvis højt vandspejl. Afvanding fra de lavtliggende søer skete gennem floddale, hvor den tiloversblevne dødis må have leveret smeltevand til søer og flodløb, der i sidste ende stod i forbindelse med lavninger i Roskilde Fjord, Kattégat, Arresø og Øresund. Lokalisering af disse søer og floder synes styret af et topografisk mønster, der i højere grad afspejler forløbet af dalstrøgene mellem de ældre randmoræner fra den Østjyske Isstrøms tilbagesmeltning end Bælthav Isstrømmens landskabsformer.

De yngste tegn på afsmeltning var dannelsen af en stor mængde huller og lavninger, skabt af optøet dødis, der ofte var dækket af jordlag eller gemt i bunden af de senglaciale søer. Kun de mest fremtrædende dødislavninger er registreret i Fig. 55 – der eksisterer langt flere mindre dødishuller i områder med issøbakker og andet terræn opstået i forbindelse med dødis, som vist i detaljerede landskabskort over mindre områder. Det gælder f.eks. kraterlignende huller dannet ved indsunkning i opragende bakkepartier som randmoræner, issøbakker og større morænerygge eller i de lavtliggende områder mellem disse bakker, hvor de i dag rummer søer og moser, som ofte er drænet i forbindelse med landskabsudnyttelse.



Selvom dødisfænomener fylder meget i terrænet, er nedsmeltning af dødis er langt fra en enerådende faktor i landskabsdannelsen, men har vist sig at være en jævnbyrdig medspiller i udformningen af hele istidslandskabet sammen med de øvrige landskabsdannende processer.

### Det sammensatte istidslandskab

De fire sidste isdækker og efterfølgende afsmeltning har alle sat deres præg på NØ-Sjællands istidslandskab. Jo yngre nedisning desto bedre bevaret er de tilhørende terrænformer. Men selv Bælthav Isstrømmen og den endelige nedsmeltning i Senglacialtid har ikke altid efterladt noget klokkeklart landskabeligt fingeraftryk. Istidslandskabet mellem Arresø og Roskilde Fjord kan tjene som eksempler på et afgrænset område med stor landskabelig diversitet og terrænformer, der ikke entydigt lader sig indpasse i de glacielle landskabsformers inventarliste. Et geologisk profil gennem området er konstrueret som lagkagemodel på baggrund af en række borer (Fig. 9). Observationer i råstofgrave har ikke afsløret storskala istektoniske forstyrrelser, men dette behøver imidlertid ikke at være den mest korrekte gengivelse, idet istektoniske forstyrrelser er set i området uden for profillinjen og morfologien kunne antyde indtil flere faser med dannelse af randmoræner.

Landskabsformerne findes på et V-formet plateau, der rejser sig over det omgivne terræn af marint forland (Fig. 56). Flere nord-syd gående bakkekuder kunne være en del af de ældre randmoræner (Fig. 14), som fra Kattegatkysten forbinder Vinderødhalvøen med randmoræner i området syd for Frederiksværk (Milthers 1935; Smed 1981). Disse formodede ældre randmoræner kan alternativt opfattes som erosionsrester flankeret af erosionsdale og dødislavninger. Mellem Arrenakke og Frederiksværk afgrænses bakesystemet af en række parallelle dale og lavninger, der er tolket som tunneldale (Milthers 1935), men da disse er sammenfaldende med andre erosionsdale i området, kan tunneldalshypotesen udfordres. Ved Øglehøj på Arrenæs gemmer udglattede bakkekuder istektoniske strukturer opstået ved istryk fra øst (Houmark-Nielsen 1987). Øst-vest orienterede småbakker på Arrenæs er udlagt som dødislandskab af Jakobsen (2022), mens de opfattes som randmoræner af Smed (1981). Hvorvidt der er tale om randmoræner eller morænerygge kan også diskuteres, men grundet den store sten og blokrigdom i området, er dannelse i et israndsmiljø med både morænerygge og mindre dumpmoræner det mest sandsynlige.

Mindre iøjnefaldende bakker med samme retning på Vinderødhalvøen omkring Arresødal og ved Hvideklint kan også karakteriseres som randmoræner, grundet forekomsten af istektoniske folder og over-

skydninger i åbne profiler, der viser deformation fra sydlige retninger. Der er i så fald tale om israndsdannelser fra Bælthav Isstrømmens afsmeltning. Det er imidlertid ikke klart, om Bælthav Isstrømmens moræner ligger diskordant på de istektoniske strukturer, hvorfor det ikke kan afvises, at morænefladen dækker de formodede israndsbakker. De lave bakkerygge kunne i så fald være dannet ved erosion af bakkernes flanker. I området mellem Arrenæs og Roskilde fjord findes et bælte med aflange NØ-SV liggende bakke-



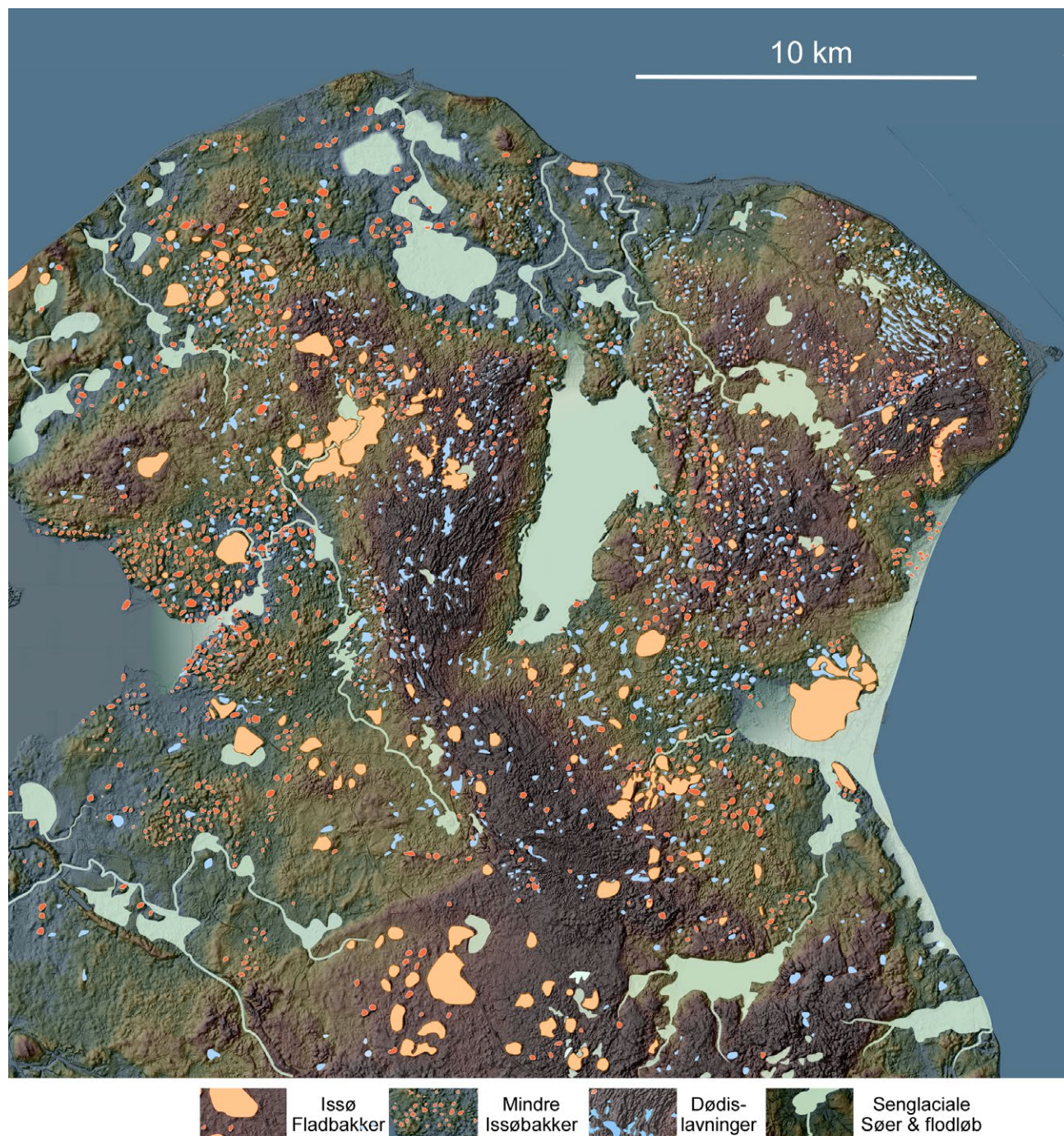
Fig. 55. Senglaciale landskabsformer i den vestlige del af NØ-Sjælland.



kamme, der løber gennem Torsbakke og som flugter i højde med morænefladen omkring Frederiksværk og Vinderød. Bakkerne kunne være den del af denne flade, der her er gennemskåret af dødislavninger og erosionsdale, dannet ved indsykning over dybt liggende dødispartier. Men hvor bakkeryggene når kysten ved Hvideklint, får de karakter af randmoræner, da der i deres indre er spor af istryk fra sydlige retninger (Nielsen 1987). Hvor morænefladen består af moræneler, viser stenorienteringer isbevægelse fra

sydlige retninger, og her er stenindholdet tydeligvis domineret af materiale hentet fra Østersøens bund, hvorfor hele fladens oprindelse må skyldes Bælthav Isstrømmen (Houmark-Nielsen 1981; Nielsen 1987).

Morænefladen er påklistret adskillige issøbakker, hvoraf de største findes omkring Maglehøj, ligesom fladen er gennemhullet af dødishuller og lavninger dannet ved indsykning efter afsmeltning af begravet dødis. Sluttelig er fladen gennemsat af talrige erosionsdale især langs skrænterne ned mod lavlandet,





hvor en større nedskylsvifte har lagt sig i forlandet, hvor byen Frederiksværk senere opstod.



Fig. 56. Landskabsformerne omkring Frederiksværk og Auderød.

## Landhævning, havstigning og klima i Sen- og Postglacial

Under Kvartærtiden var vandstanden i verdenshavene bestemt af, hvor meget fordampet havvand der var opmagasineret på kontinenternes store isbjælke. Når det globale klima afkøles, vokser mængden af gletsjers og havspejlet falder, og under varmt klima smelter isen og havspejlet stiger; sådan har det været siden de globale temperaturer har skiftet regelmæssigt mellem istider og mellemistider. Mod slutningen af sidste istid fandt en både hurtig og kraftig opvarmning sted. Den mængde vand der var bundet i isbjælkerne, da sidste istid var koldest for ca. 20.000 år siden, svarer til en sænkning af det globale havspejl på omkring 120 meter. I de følgende godt 10.000 år smeltede isbjælkerne, hvilket betød, at havspejlet i verdenshavet steg, indtil det for ca. 7000 til 6000 år siden nåede det niveau, vi har i dag (Fig. 57). Da var der etableret en ny ligevægt

mellem det varmere mellemistidsklima og størrelsen af de tilbageværende isbjælke.

I Skandinavien og andre isdækkede områder fandt imidlertid en mere varieret udvikling sted. Verdenshavens vedvarende stigning blev på vore breddegrader undertrykt af landhævning, fordi det Skandinaviske Isbjælkes enorme vægt var løftet af jordskorpen, hvilket medførte, at landhævning i det danske område har stået på siden afsmeltningen dog i gradvist langsommere tempo. Kurven over det lokale havspejl i NØ-Sjælland fortæller, at selvom havspejlet ved Senglacialtidens begyndelse lå knap 100 meter lavere end i dag, kunne havet trænge ind igennem Kattegat i samme øjeblik, isen var smeltet bort på grund af jordskorpen nedpresning. På trods af at havniveau i verdenshavet steg kraftigt i samme periode, var den lokale landhævning stærkere, hvilket medførte, at havspejlet i vore farvande sank og nåede et minimum på ca. -30 meter i Fastlandstiden. Godt inde i vores nuværende varmetid gik afsmeltningen af de tilbageværende isbjælke hurtigt, og med aftagende landhævning begyndte havniveau omkring Danmark at stige, indtil det fandt sit højeste niveau for ca. 7000 år siden. Herefter faldt vores lokale havspejl, fordi landhævningsen stadig foregik, uden at havet steg yderligere. Derfor er Stenalderhavets strandaflejringer og kystklinter hævet mellem 8 og 5 m over havet i det nordøstlige Sjælland.

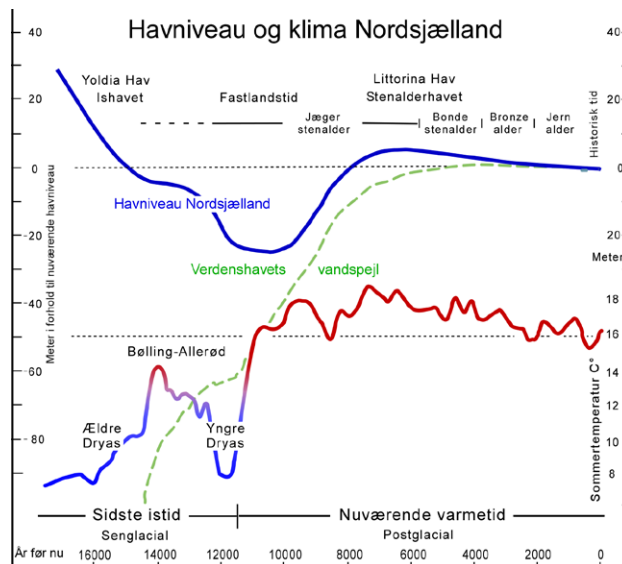


Fig. 57. Havniveau og klima i det nordlige Øresundsområde de seneste ca. 18.000 år. Ændringer i kystlinjens højde i det nordlige Sjælland (kraftig blå kurve) var styret af hurtig landhævning efter isens bortsmlten, der for ca. 10.000 år siden blev indhentet af stigning i verdenshavens vandspejl (stiplet grøn kurve). Klimaet i Nordvesteuropa (kraftig blå – rød kurve) blev styret af havstrømmene i Nordatlanten, atmosfærens cirkulation og indstrålingen fra solen. Efter Houmark-Nielsen (2019).

Klimaets udvikling siden sidste istids afslutning er både påvirket af de langsomme forandringer styret af indstråling fra Solen og de hurtige strømningsbetingede ændringer i Nordatlanten og atmosfæren. I slutningen af sidste istid steg temperaturen kraftigt, dog afbrudt af et kortvarigt fald med istidsforhold under Yngre Dryas, sandsynligvis fordi det Nordatlantiske strømningsmønster blev forstyrret af ferskt smeltvand fra iskjoldene. Det lune mellemistids-klima vendte tilbage for 11.700 år siden, men efter Jægerstenalderen, hvor temperaturen var på sit højeste, er klimaet ubønhørligt blevet køligere og mere ustabil og denne tendens kulminerede foreløbigt i kuldebølgen 'den lille istid', der medførte langvarige isvintre, flere storme med voldsom sandflugt og stærkt forringede livsbetingelser. Vore dages globale klimatiske opvarmning og ændrede vejrforhold synes at sprænge rammerne for den gradvise udvikling mod en ny istid, som afslutningen på tidligere mellemistider ellers har kunnet opvise.

#### **Yoldia-havets udbredelse omkring NØ-Sjælland**

At det senglaciale ishav har været tæt på Nordøstsjælland nuværende kyst, viser boringer gennem havbunden, hvor ler og dynd med arktiske, marine fossiler er fundet på ringe dybde umiddelbart uden for kysten flere steder mellem Halsnæs og Gilleleje. Dette 'Yngre Yoldia-hav' bredte sig ned gennem Kattegat og nåede tæt under Nordøstsjællands kyst, hvor det for en tid stod i forbindelse med et dødisfyldt, brakvandsbassin i Øresund (Fig. 13, 39). Sporene efter det arktiske havs udbredelse langs Nordøstsjællands kyster er sparsomme, men højtliggende bølgepåvirkede terrasser med sand og grus er truffet i ca. 10 meters højde langs den gamle kystklint ved Lerbjerg i Tisvilde Hegn, og formodet strandgrus er fundet i samme højde i dalbunden øst herfor (Rørdam 1892). Sandsynligheden for, at ishavet har medvirket til dannelse af den nu hævdede kystklint mellem Lerbjerg og Tisvildeleje, er således til stede, men denne antagelse har foreløbig ikke kunnet eftervises, ligesom tilsvarende høje strandterrasser mellem Gilleleje og Helsingør heller ikke på overbevisende måde har kunnet knyttes til Yoldia-havet, tvært imod synes de at være resultatet af højvandsstorme under den yngre del af Stenalderen (Madsen 1942).

Adskillige boringer i Nordøstsjælland ikke langt fra den nuværende kyst og andre dybt inde i den inderste del af Arresø indeholder aflejringer, der er bestemt til at være afsat i det senglaciale Yoldia-hav (GEUS 2024a). Imidlertid baseres dette på usikre tolkninger, hvor marine aflejringer enten fører en varmekrævende fauna lig den, der kendes fra Stenalderens Littorinahav, eller boreprøvernes indhold af planterester og andre fossiler tyder på afsætning i et ferskvandsmiljø. Aflejringer

med rester af arktisk marin fauna, der også er henført til Senglacialtid, optræder nær Arresøs vestlige bred i bunden af et par 10–15 meter dybe brønde, hvor overfladen består af moræneler og smeltevandsdannelser. Disse marine aflejringer kan ikke med sikkerhed siges at være senglaciale, da de lige så godt har kunnet forveksles med det istektonisk forstyrrede Græsted-ler fra Mellem Weichsel, som det f.eks. ses i profilet gennem Frederiksværkhalvøen (Fig. 9).

Der er således ikke noget, der med tyngde taler for, at Yoldia-havet er trængt ind i fjorde og sunde langs NØ-Sjællands kyst eller har medvirket til dannelsen af markante kystklinter, dog vidner boringer i farvandet nord for Hundested og Gilleleje og tæt under Hesselø og Kullen om, at arktiske marine forhold var til stede i det sydlige Kattegat i Senglacialtid og fossilindholdet i det senglaciale ler i Skåne og det nordøstligste Sjælland viser, at ishavet havde afgørende indflydelse på forholdene omkring Øresund i Senglacialtid.

#### **Det senglaciale Øresund – isdæmmet sø eller arktisk fjord**

Det bassin hvor Nivå-leret blev afsat, synes at have været en del af en større bugt i det mellemste Øresundsområde. Bassinet har været spærret af den afsmeltende Øresundsgletsjer, først ved den yderste rand syd for Helsingør, herefter under flere afsmeltningssstadier hvor isranden gjorde ophold f.eks. langs de fremtrædende Lund-moræner, der via Hven havde forbindelse til de sjællandske randmoræner. Senere lå randen længere mod syd, hvor gletsjeren stod på grund over den højtliggende kalkstenstenskel mellem København og Malmø. Samtidig med tilbagesmeltningen har der været forbindelse til det arktiske Kattegat via et sund mellem Helsingør og Helsingborg. Mens bassinet udvidedes, og havet trængte længere ned i Øresund, faldt vandstanden; således ligger den højeste marine grænse i Vestsåne 35 meter højere nord for Lund morænerne end syd herfor (Regnell *et al.* 2023), hvilket tyder på et betydeligt fald i havniveau under Øresundsgletsjerens tilbagesmeltning.

Nivå-leret er afsat i samme bassin som de senglaciale lerforekomster i Vestsåne, der findes i kystlandet mellem Helsingborg og Lomma nord for Malmø. Leret i Øresundsregionen kan ikke været aflejret under fuldt marine forhold (Lagerlund & Houmark-Nielsen 1993), som det er tilfældet i farvandet nord for Sjælland og Skåne, hvor der i de senglaciale havaflejringer er fundet rester af en rig arktisk marin fauna. Imidlertid vidner fund af en ryghvirvel fra Ringsæl i lergravene ved Nivå om en tæt forbindelse til havet (Fig. 58), ligesom leret ved Lomma er berømt for sine indlejrede knoglerester fra flere polartorsk (Holst & Moberg 1895) og dets indhold af foraminiferer med et tydeligt senglacialt præg (Madsen 1896).





**Fig. 58.** Ryghvirvel af ringsæl fra Nivåleret fundet i lergrav ved Nivå. Knoglens alder er bestemt til  $14.510 \pm 250$   $^{14}\text{C}$  år BP (Lagerlund & Houmark-Nielsen 1993). Det svarer til ca. 16.900 kalender år før nu. Foto: Danmarks Geologiske Undersøgelse (1960).

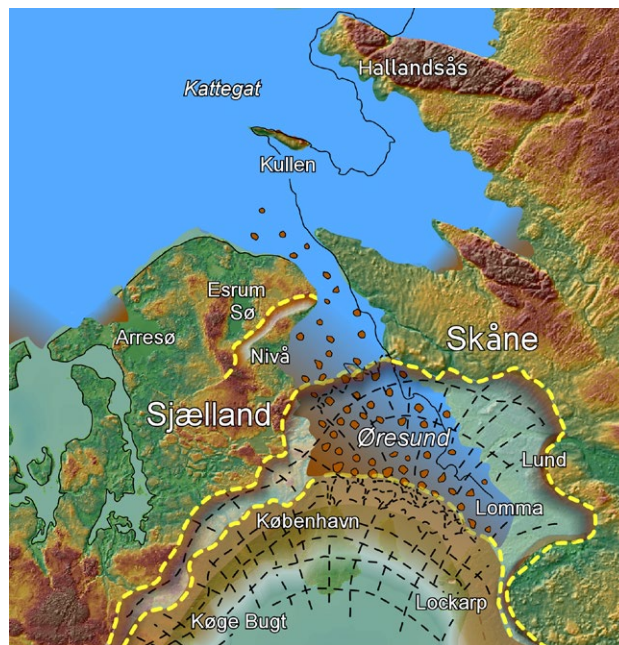
Blandt øvrige fund fra Øresundsområdet kan nævnes arktiske planterester og en lårbensknogle af isbjørn fra Kullen; en tand af mammut fra Lockarp nær Malmø og en stump af rensdyrtak i Køge Bugt. Aldrene på disse dyre- og planterester ligger inden for samme tidlige del af den senglaciale periode, nemlig i intervallet mellem 17.000 år og 14.000 år med rensdyr og isbjørn som de yngste og ringsæl og polartorsk som de ældste (Richardt *et al.* 1999). Omtrent samtidig med at mammutten i Skåne blev fanget i en dødislavning og dele af den senere bevaret i en issøbakke, smeltede store sten ud af dødisen i Gribskov (Houmark-Nielsen 2012), mens rester af den første sparsomme polarvækst blev aflejret i de tidlige søer på Kullen (Sandgren *et al.* 1999). Der tegner sig således et kig ind i en tidslomme på et par tusind år, hvor en brakvandet fjord fyldt med dødis var omgivet af lavland med en arktisk plante- og dyreverden, hvor polartorsk var føde for ringsæl, som selv blev efterstræbt af isbjørn, mens rensdyr og mammut afgræssede landområdernes kuldetolerante vegetation (Fig. 59).

Aflejring af lagdelt ler og mudder i det tidlige Øresund blev gradvist afløst af en usorteret og sammenrodet blanding af issøler, klumper af moræneler og større enkeltliggende sten, der i dag ligger som en kappe ikke blot oven på Nivå-leret (Fig. 51), men som et dække over issøleret i det meste af det senglaciale bassin i Øresund (Øresund Diamikt / Helsingør Diamikt / Lund Diamikt; Houmark-Nielsen & Lagerlund 1987; Richardt 1992; Lagerlund & Houmark-Nielsen 1993). Aflejringen foregik i et vandigt miljø, hvor dødisen i Øresund havde slubbet sit greb i bunden. Isen var brudt op og sendte en armada af isbjerge ud mod Kattegat, mens Øresundsgletsjeren var under hurtig tilbagesmeltning (Fig. 59). Sammen med til-

skud fra lokal dødis afgav de drivende isbjerge deres indefrosne materiale, som blev dumpet på bunden af bassinet. Sluttelig smeltede den aktive gletsjer ud gennem Køge Bugt mod Bornholm, skarpt forfulgt af de tidligste stadier af den Baltiske Issø. Landhævningen fik efterhånden sænket vandstanden i det sydlige Kattegat og dermed spærret det arktiske havs tilgang til bassinet i Øresund. På grund af landhævning findes Øresund Diamikt i dag i ca. 20 meters højde mellem Helsingør og Vedbæk og langs Skånes vestkyst.

### Spor af de senglaciale klimasvingninger

De grønlandske iskerner har afsløret flere tilløb mod varmere klima i slutningen af Weichsel istiden (Björck *et al.* 1998). For omkring 14.700 år siden steg temperaturen over Indlandsisen markant for i de efterfølgende 2000 år gradvist at falde til istidsværdier indtil afslutningen af sidste istid for 11.700 år siden, hvilket også er registreret af nordvesteuropæiske data (Fig. 57). Under Bølling-Allerød varmetiden slog en krybende og kuldetolerant buskhede rod i Sydsandinavien. Vegetationen kulminerede med indvandring af en åben birkeskov i Nordøstsjælland, inden den arktiske træløse plantevækst igen blev dominerende under Yngre Dryas (Iversen 1967).



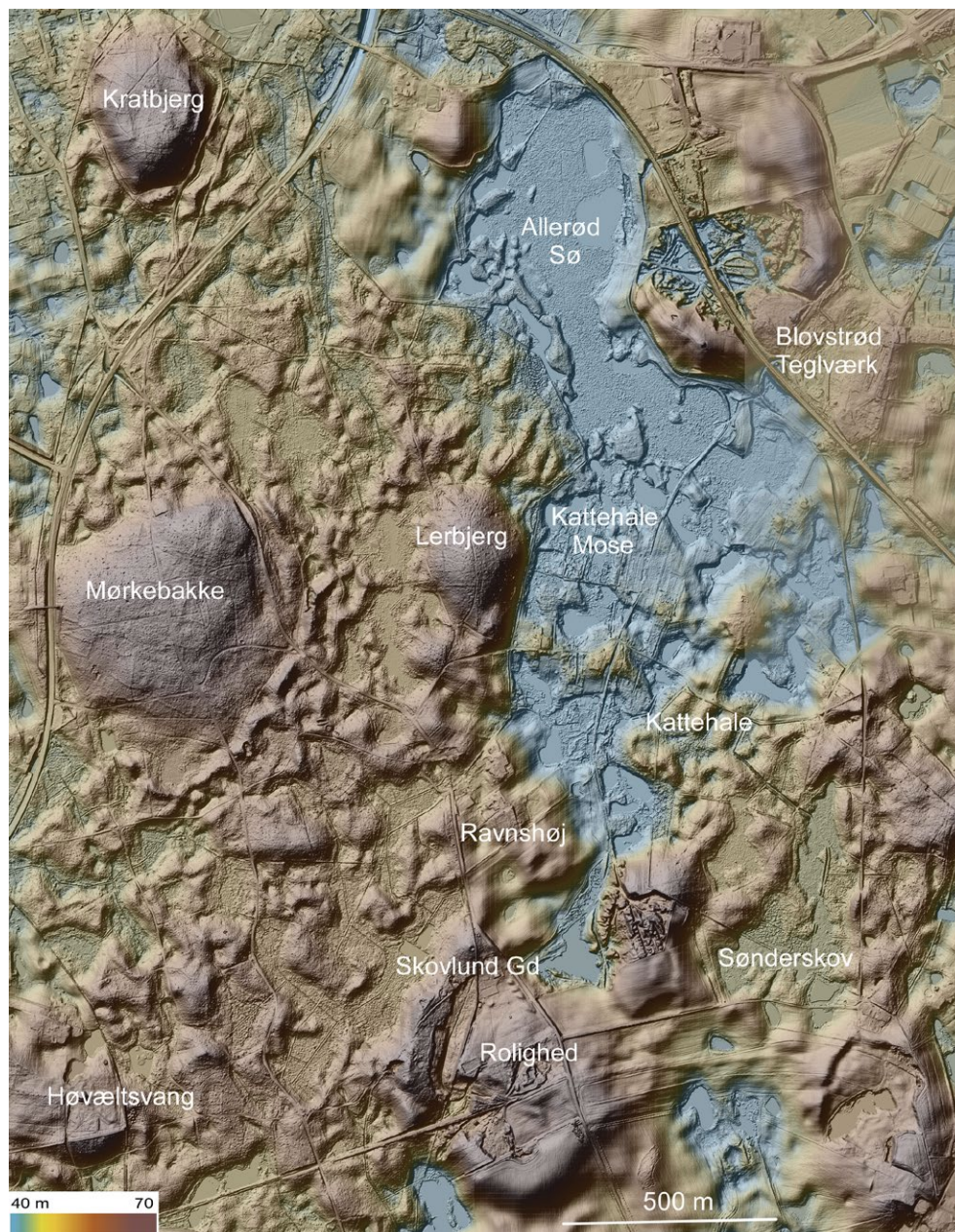
**Fig. 59.** Rekonstruktion af Øresundsområdet i Senglacaltid mellem 17.000 år og 14.000 år. Det yngre Yoldia-hav i Kattegat (blå) stod i forbindelse med en isdækket og smeltevandsfyldt lavning med isbjerge (røde klatter) mellem Sjælland og Skåne. Øresundsgletsjerens afsmeltningssstadier (gul). Nordligst: Helsingør morænerne, Midt: Lund morænerne, Syd: København-Malmø morænerne. Efter Richardt *et al.* (1999), Houmark-Nielsen & Kjær (2003) og Regnell *et al.* (2023).



I forbindelse med lergravning i dødisområdet syd for Allerød fandtes lag med plante- og dyrerester, der vidnede om en opvarmning af klimaet og efterfølgende afkøling i tiden omkring sidste istids slutning (Hartz & Milthers 1901). I egnen omkring Allerød Sø og Kattehale Mose findes et dødislandskab bestående af adskillige issø-fladbakker, der har været udsat for intens lergravning (Fig. 60). Mellem fladbakkerne findes flere lavt liggende mosestrøg og bølget moræneflade med mindre issøbakter og aflange morænevolde.

Ældst i terrænet er de høje fladbakker bestående af lagdelt issøler og ofte beklædt med en kappe af

moræneler. Sammen med de øvrige var bakken ved Sønderskov og Rolighed smeltet fri, mens dødis stadig lå i vandfyldte lavninger mellem dem. Med bakkerne som leverandør blev ler og mudder skyllet ud i disse 10–15 meter lavere liggende nydannede issølavninger sammen med rester af den sparsomme omgivne vegetation iblandet søens egen flora og fauna. Aflejring i nedskylsbassinet indledtes og afsluttedes med afsætning af både sand og mudder med rester af arktiske dyr og planter inklusive *Dryas*, mens lagene herimellem fører planterester fra en lunere periode med kratvækst af pil og birk; denne lunere periode er opkaldt efter det tidligere



**Fig. 60.** Terrænmodel fra området syd for Allerød, typelokaliteten for Allerød varmetiden er i lavningen lige øst for Skovlund Gård.



Allerød Teglværk. Forholdene her viser, at dødisen, der dannede krans omkring en de store fladbakker, var smeltet bort inden Allerød varmetiden, mens vandspejlet i anden generations issøerne neden for fladbakkerne var sunket til et lavere niveau ved overgangen til Postglacialsalderen. Dødishullerne i de dybeste lavninger smeltede fri i tidlig Holocæn, hvorefter de indgik som de dybeste dele af Allerød Sø og Kattedahle Mose. Tilsvarende forhold findes i lerforekomsterne i Nivå neden for de store issøbakker, hvor Nivå-leret dækkes af nedskylder med arktiske planterester fra den sene del af Allerødtid og Yngre Dryas (Milthers 1935).

Samme type lagfølge bestående af lagdelt ler og mudder med spor af Allerød opvarmningen og den efterfølgende kuldeperiode i Yngre Dryas er fundet i talrige dødislavninger og andre senglaciale søbassiner. Det gælder dødishuller i Rude Skov og adskillige dybe søer og moser, der adskiller morænevoldene i Gribskov (Jessen 1925; Milthers 1935). Med de tre generationer af issøfladbakker i Gribskov og Allerød Sø (Fig. 46, 60) kan issøernes kronologi sandsynligvis afspejle generelle træk i udviklingen af det NØ-Sjællandske dødislandskab.

En boring gennem søsedimenter i Esrum Sø's nordlige og dybeste del har afsløret ca. 4 meter lagdelt senglacialt sand og ler efterfulgt af en tilsvarende mægtighed af postglaciale søsedimenter. Pollenindholdet i den nederste del af lagfølgen fortæller, at sedimenterne blev afsat under hovedparten af Senglacialsalderen inklusiv Allerød varmetiden (Hansen 1968) og, at den store issølavning allerede på den tid kunne modtage sedimenter fra de omgivende landområder. At aflejringer fra begyndelsen af Postglacialsalderen mangler kan skyldes boretekniske forhold eller, at lagserien fra dette tidsafsnit aldrig blev afsat. Mere nærliggende kunne være, at de tidlige postglaciale lag var blevet forstyrret og afrømmet på grund af bevægelser i bundlagene og udskridning, måske udløst af tektoniske bevægelser i undergrunden en gang i midten af Postglacialsalderen, som foreslået af Boldreel & Pedersen (2024).

## Træk af det samlede istidslandskabs opståen

Det er gletsjeres fremfærd og afsmeltning, der under den yngre del af Sen Weichsel Istiden har formet detaljerne i det NØ-Sjællandske istidslandskab over en mere end 10.000-årig periode (Fig. 61). Landskabet er sammensat af særskilte terrænelementer, der ofte overpræger tidligere former eller kannibalisierer hinandens aflejringer. Hovedtrækkene i landskabet

er imidlertid ældre, hvor meget er uklart, ligesom det heller ikke kan fastslås hvilke af landskabets storformer, der er ruiner af tidligere mere udbredte landskaber. Det sidste gælder f.eks. Arrenæs halvøen (Fig. 9) og Attemoseskrænten, en mulig israndsdannelse fra Kattegat Isstrømmen. Hertil kommer grundstammen i NØ-Sjællands landskab. Den centrale bakkeryg kaldet Gribskov-randmorænerne og det strøg af lavninger bag ryggen, der ligger som en perlerække af større søer og mosedrag, er formodentlig dannet af den afsmeltende NØ-is, men også Kattegat Isstrømmen synes at have haft indflydelse på det kuplede terræns udformning (Fig. 11).

Hvor langt NØ-isen smeltede tilbage inden den Østjyske Isstrøm fra øst invaderede området er uvist, men sandsynligvis omkring Øresundskysten. Den Østjyske Isstrøm har under sin fremrykning overskredet den ældre del af Gribskovområdet og under sin videre fremfærd har strømmen udglattet NØ-isisens landskaber og aflejret et tæppe af moræneler over hele Nordøstsjælland (Houmark-Nielsen 1987). Da strømmingen ophørte, blev store arealer efterladt i et dække af dødis, hvori den fremstående og morænelerdækkede ås Strø Bjerge blev afsat. Under den generelle tilbagesmeltning forekom ophold og endda mindre fremstød, hvorved forlandets jordmasser og afsnøret dødis blev skubbet sammen til randmoræner. Disse ældre randmoræner ligger i en håndfuld nordvest-sydøst orienterede bælter fra Halsnæs til Helsingør, og de få åbne profiler, der er beskrevet fra bakkerne, viser en type istektonisk arkitektur, som er karakteristisk for sammenstablede push moræner. I konsekvens heraf er der foretaget ekstrapolation gennem bakkestrøgenes forlængelse, hvor den indre opbygning er ukendt. Et andet uklart forhold er den centrale del af randmorænestrøget gennem Gribskov og Store Dyrehave i egnen omkring Hillerød, hvor udgravninger har vist ispres fra nordøst, men da randmoræner fra de tre seneste isdækker har samme retning netop i denne egn, kan deres formodede tilhørsforhold til den Østjyske Isstrøms afsmeltning ikke med sikkerhed fastslås.

Bælthav Isstrømmens landskaber danner et relief-rigt landskab, hvor gletsjeren under sin tilbagesmeltning og overgang til dødisstadiet har dannet flere systemer af randmoræner. Først langs Kattegatkysten mellem Hundested og Gilleleje, senere et bælte af sammenskubbede bakker fra egnen syd for Arresø gennem Gribskov til Hornbæk og endelig et tredje bælte tilhørende Øresundsgletsjeren, der ligger tæt under Øresundskysten mellem Helsingør og Fredensborg. Israndsbakkerne og det mellemliggende landskab ledsages af talrige mindre morænerygge, der fra sydvest slynger sig over bakkerne omkring Gribskov og Store Dyrehave og videre ud mod det

bulede og bølgede landskab ud mod Øresund. De består for det meste af morænegrus og ses bedst udviklet i områdets centrale og højeste områder, hvor deres lighed med dumpmoræner synes at være størst. Bakkeryggene er sandsynligvis opstået i grænsefladen mellem den aktive is og en stagnerende ismasse ved udfyldning af dybe spalter og lavninger mellem rygge af dødis. Det fremherskende system af sprækker, opskudte flager af gletsjeris og lavninger herimellem afspejles af bakkernes let slyngede men temmelig konsistente retninger, der har fulgt de israndsstrøg, der opstod under tilbagesmeltningen. Det må formodes, at bakkernes sedimentindhold ikke udelukkende er udsmeltet fra Bælthav Isstrømmen; også dødis fra NØ-isen og den Østjyske Isstrøm har været leverandør, idet morænematerialets varierede sammensætning synes at stamme både fra Sydvestsverige, Skåne og Østersøen. Ligesom Bælthavisens randdannelser kryber ryggene hen over de ældre landskabsformer, men undviger eller smyger sig uden om dødislandskabernes større terrænformer (Fig. 26), hvor de også kan antage mere afrundede og cirkulære former.

Gennem flere systemer af åse, der mest består af flodsedimenter afsat i sprækker og lavninger i isen, har smeltevand drænet gletsjerne på vej mod udløbet ved isranden. Åsenes sedimenter viser alle afløb mod nordvest, hvilket må være sket i flere tempi, ældst er åsene ved Rågeleje, mens et smalt og slynget sæt af åsbakker kan kobles til israndsstrøget ved Helsingø. Havreholm og Horneby åsene og deres tilhørende tunneldale munder ud på grænsen til de lave israndsbakker mellem Gribskov og Hornbæk. Uden for isranden løb smeltevand i floddale mellem Esrum og Hornbæk, mens der i sydvest afsattes en mindre smeltevandsslette syd for Arresø. Af yngre åsdannelser kan nævnes de smalle slyngede grusbakker nær Kregme med udmunding i Arresø, Gurte Å og åsen nord for Vedbæk samt Langebjerg, der krydser Attemoseskrænten på morænefladen vest for Allerød. Hillerød åsene indtager imidlertid lidt af en særstilling, idet det er uklart om de udelukkende er opstået i forbindelse med nedsmeltningen af Bælthav Isstrømmen, eller om den foregående Østjyske Isstrøm har medvirket til deres dannelse.

Det senglaciale istidslandskab tæller myriader af mindre isolerede issøbakker, afsat hvor smeltevand har kunnet dumpe sin last af grus, sand og mudder, mens de større fladbakker er rester af brede og dybe isdæmmede søer, hvor store mængder lagdelt ler blev aflejret. Da dødisen efterhånden smeltede længere ned, stod bunden af de tidligere isdæmmede søer frem som afrundede eller fladtoppede bakker, der har været leverandør af nedskysslend og ler afsat i søbassiner for foden af issøbakkerne. Nedbrydning

af landskabet fortsatte med udglidning og erosion af ustabile skrænter og samtidig bidrog den tilbageværende dødis til, at vandløb kunne skære sig ned i landskabet, en proces der blev forstærket af den kraftige landhævning efter den aktive is' forsvinden. Mange floder afvandede større senglaciale søer og førte smeltevand ud i lavningerne, der i dag huser Øresund, Arresø, Roskilde Fjord, Isefjord og Kattegat.

## Nordøstsjælland's istidslandskab – en tegneserie

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 11.700 år siden, viser aldersbestemmelser fra issøaflejringer og kæmpesten, at afsmeltningen var godt i gang for omkring 18.000 år siden, og noget tyder på, at de højeste steder i NØ-Sjælland smeltede fri først. Flod- og søaflejringer fra Møltbjerg i Gribskov (Fig. 48 afl. F) er daterede vha. luminescensmetoden til ca. 20.000–17.000 år (Houmark-Nielsen & Kjær 2003), og eksponeringsdateringer af to store vandreblokke fra den centrale bakkeryg (Fig. 42) har givet tilsvarende aldre (Houmark-Nielsen 2012). Dette tyder på, at afsmeltningen var i gang for omtrent 18.000 år siden. Indirekte aldersbestemmelser vha. pollenstudier af rester af den arktiske senglaciale vegetation, som findes i bunden af større søer og moser, tyder på, at mange store dødisrester var smeltet så langt ned, at de var omdannet til lavninger og søer for omkring 14.000 år siden.

Istidens landskab i NØ-Sjælland er dannet i forbindelse med flere isdækkers fremrykning og afsmeltning og består 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 istidslandskabet er vist i Fig. 62, hvor også landskabets indre opbygning mellem Arresø og Øresund er skitseret. Et tidligere nediset landskab med spredte forekomster af dødis, kunne være efterladt af Kattegat Isstrømmen og NØ-isen (Fig. 62A). Under disse fremstød blev skiver og flager af undergrunden og det glaciomarine Græsted-ler indlejret i randmorænerne, hvor bl.a. kernen til Gribskovmorænerne blev anlagt. Den Østjyske Isstrøm har dækket hele NØ-Sjælland og har under sin afsmeltning modelleret om på det eksisterende landskab og dannet sine egne randmoræner tværs gennem Gribskov og i Store Dyrehave (Fig. 62B). Ældre isstrømmes moræneler, overlejret af Østjyske Isstrøms dødis, blev dækket af gletsjeris fra Bælthav Isstrømmen, som også har haft sin rand





Fig. 61. Kort over det samlede istidslandskab i den vestlige del af Nordøstsjælland.

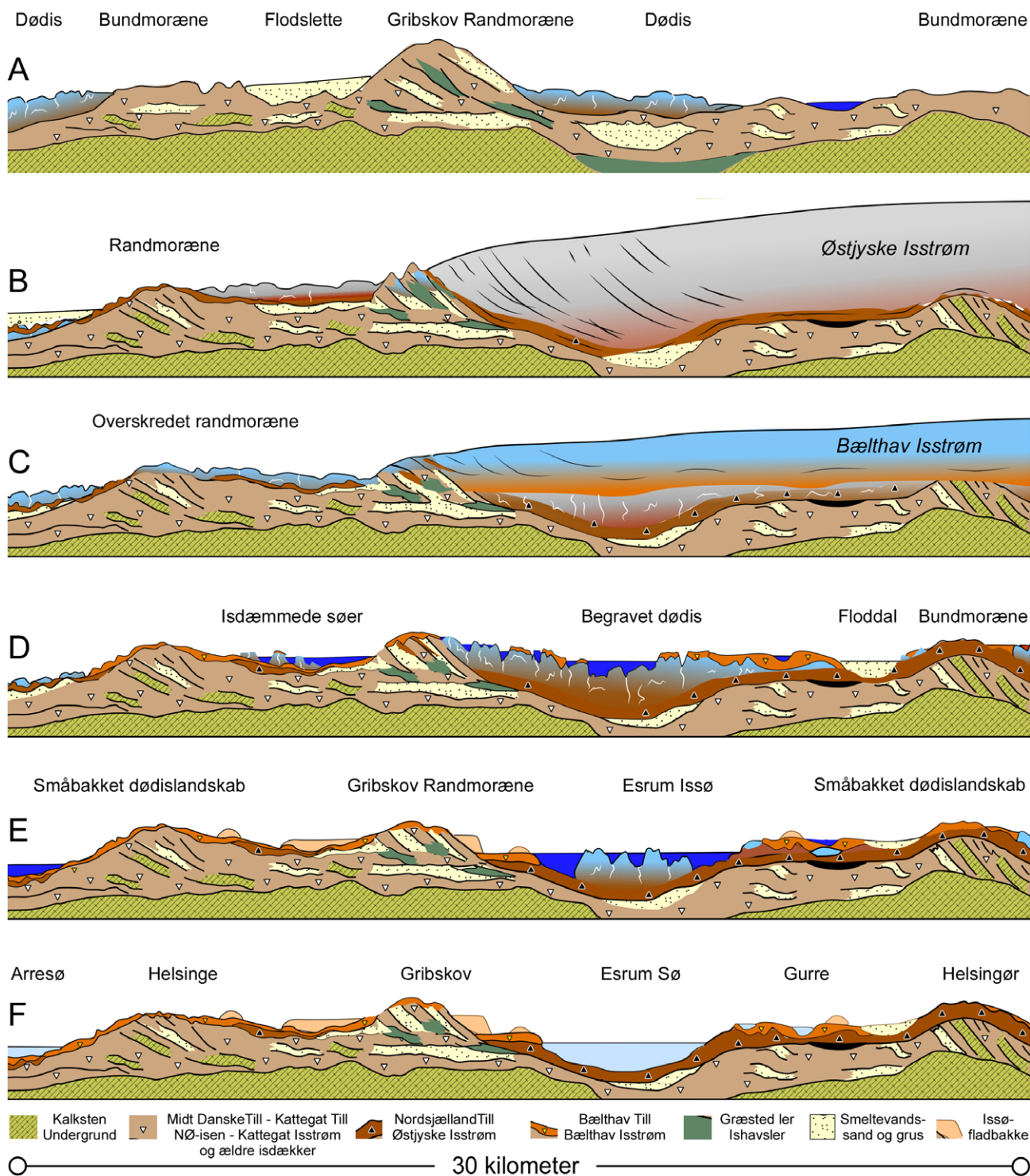






Sydvest

Nordøst



**Fig. 62.** Det nordøstsjællandske 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. Moræneler vist med trekantsignatur, Østjyske Isstrøms dødis er vist med grå farve, Bælthav Isstrømmens med blå farve. **A:** NØ-isen's landskab. **B:** Østjyske Isstrøms tilbagesmeltning. **C:** Bælthav Isstrømmens afsmeltningsskade langs Gribskovbakkerne. **D:** Bælthav Isstrømmen smelter ned side om side med Østjyske Isstrøms dødis. **E:** Under Senglaciertiden dukker det sammensatte istidslandskab frem. **F:** Nutidens landskab.

liggende gennem Gribskov under afsmeltningen (Fig. 62C). Moræneler og dødis fra de seneste isstrømme overlejrer landskabets nedhøvede storformer, mens smeltevand har afsat finkortede sedimenter i søer på dødisens overflade (Fig. 62D), og forstadier til Esrum Issø og andre isdæmmede søer smeltede frem. Efterhånden blev de fleste issøer tømt for vand, og mens dødisen smeltede, stod søsedimenterne frem som is-søbakker i et småbakked dødislandskab. I de dybeste dele af lavningen, hvor Esrum Issø senere opstod, fandtes en isdæmmed sø, hvor partier af dødis overlevede langt op mod afslutningen af Senglacialtid (Fig. 62E). Nederst ses et snit gennem nutidens istidslandskab bestående af bundmoræne, israndsdannelser, issøbakker og dødislavninger (Fig. 62F).

## Postglacial – Holocæn: 11.700 år til i dag

For omkring 11.500 år siden blev tundraen fortrængt af skovvækst, og en varmekrævende mellemistids-fauna indvandrede efterhånden (Aaris-Sørensen 2016). Kampen mellem landhævning, der var forårsaget af isostatisk justering af jordskorpen efter isens bortsmeltning, og stigende globalt havniveau fortsatte ind i Holocæn. Den verdensomspændende transgression, der havde fundet sted lige siden de store isskjolde begyndte at smelte, kunne for ca. 10.000 år siden begynde at følge med landhævningen, hvilket i sidste ende medførte havstigning og oversvømmelse også på vore breddegrader (Fig. 57). Da den tilbageværende del af Jordens isskjolde igen havde opnået ligevægt i forhold til det varmere mellemistidsklima, ophørte havspejlsstigningen. Efter den højeste vandstand var indtruffet, faldt havspejlet i NØ-Sjælland på grund af den

fortsatte landhævning, mens begyndende afkøling ved polerne gav næring til den første gletsjervækst siden sidste istid. Denne tendens mod køligere klima og fornyet vækst af gletsjere i Grønland, Skandinavien og Alperne fortsatte op mod vor tid, hvor der under den Lille istid indtraf en særlig hård periode med nedkøling, der var ledsaget af flere storme end normalt og sandflugt blev udbredt.

## Fastlandstiden

Da ishavet forsvandt fra Skagerrak og store dele af Kattegat ved udgangen af sidste istid, var de områder, der i dag er overskyldet af vore indre farvande, beklædt med kuldetolerant buskhede, der afløstes af åben – senere tæt tempereret løvskov. Perioden kaldes traditionelt for Fastlandstiden og ophørte, da havniveauet omkring Danmark i den sene del af Jægerstenalderen nærmede sig den nuværende højde. I begyndelsen af vores nuværende varmetid var de lavereliggende dele af landet gennemstrømmet af brede floder, der bl.a. afvandede et stort ferskvandsbassin i Østersøen – Ancylussøen.

Havet var efter gletsjernes afsmeltning over Sydsandinavien fortrængt til de dybeste dele af Kattegat og Skagerrak og Norske Rende, mens en ferskvandssø havde indtaget Østersølavningen og store dele af det danske område var landfast med Skåne og den sydlige del af Nordsøen (Fig. 63). Men gennem hele Fastlandstiden blev landområderne efterhånden overskyldet af havet, stigningen fortsatte efter Fastlandstidens afslutning ved overgang til Atlantisk tid for 9.000 år siden. Nordsøen, der tidligere var et udbredt landområde med Doggerbanke liggende som et højland, blev, som tiden gik mere og mere indsnævret af havet, for til sidst at blive helt overskyldet.

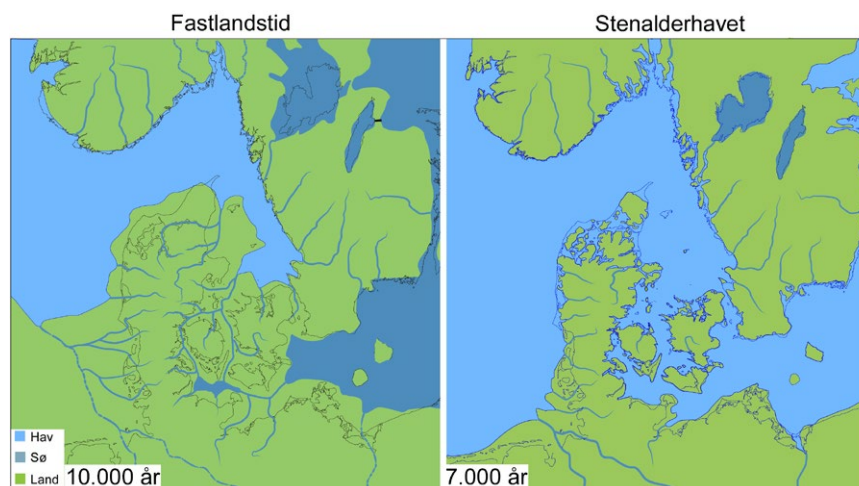


Fig. 63. Omtrentlig fordeling af land, hav og sø i Postglacial – Holocæn.



## Littorinatransgressionen

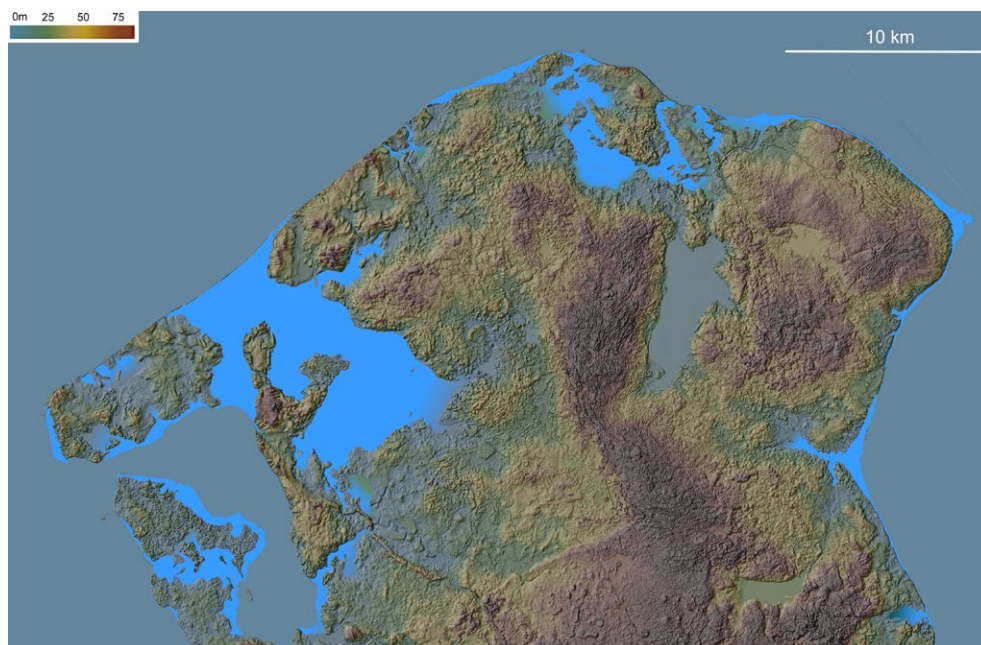
Når verdenshavets højeste niveau indtraf netop i den sene del af Stenalderen, skyldes det den globale havspejlstigning, der nåede sit maksimum for knap 7000 år siden. Stigningen, der lagde ud fra et lavpunkt ca. 120 meter under dagens havspejl, blev langsomt sat i gang, da de store isskjolde begyndte at skrumpe for ca. 18.000 år siden, men havspejlets højde kulminerede først 10.000 år senere, da resterne af de sidste store gletsjere på det nordamerikanske kontinent kollapsede og smeltning fra de grønlandske og antarktiske isskjolde var på sit højeste. Det voldsomme input af smeltevand til oceanerne medførte oversvømmelse af de dybere liggende dele af landskabet omkring Kattegat, og i løbet af perioden fra 8.000 til 7.000 år steg havniveau omkring 10 meter, svarende til 1 cm pr. år. Fastlandstidens nedskårne flodløb lå efterhånden tilbage som dybe render i de nydannede fjorde, sunde og bæltter og de gamle floddale tættest på nordøstsjælland's kyst blev indlemmet Stenalderhavet. Da havet stod højest, fandtes langs Nordøstsjælland's kyst et fliget og bugtet kystlandskab, hvor lavvandede og smalle fjorde havde forbindelser til åbent hav i Isefjord, Roskilde Fjord, Kattegat og Øresund (Fig. 64).

Stenalderhavets eller Littorinahavets aflejringer og kystformer i NØ-Sjælland er i dag synlige hvor, de på grund af landhævning er løftet op til 5–7 meter op over nuværende havniveau (Madsen 1942). Yderst i fjordene har der været høj saltholdighed og rigelig vandudskiftning, som har givet gode levevilkår for en rig marin lavvandsfauna med bl.a. østers, hvilket ses i de talrige fund fra skaldyrer og køkkenmøddinger nær de tidligere kystbopladser (Milthers 1935). Den

almindelige skalfauna tæller muslinger og snegle som blåmusling, hjertemusling, tæppemusling, dværgkonk, strandsnegl og dyndsnegl, der tilsammen indikerer, at der har været tale om et lavvandsmiljø, der har strakt fra strandzonen til ca. 8–10 meters dybde i lighed med nutidens *Macoma*-samfund (Thorson 1968). Efter højvandsstørme kan disse aflejringer flere steder være skyllet fri, som det f.eks. kunne ses i klinten ved Liseleje (Fig. 65). Længere inde i de smalle farvande



**Fig. 65.** Stenalderhavets hævede aflejringer fra tiden omkring lukningen af indløbet til den tidligere Arrefjord ved Liseleje. Nederst sand med gravegange dækket af sand og mudder med tætpackede lag med skaller og skalstumper. De fleste er fra Hjertemusling. Øverst strandsand. Profilet er omkring 1,5 meter højt. Foto M. Houmark-Nielsen (2004).



**Fig. 64.** Stenalderhavets/Littorinahavets omtrentlige udbredelse i det nordøstlige Sjælland.

var havmiljøet mindre salt og med ringere vandudskiftning, og inderst i de lavvandede fjorde har der nærmest hersket brakvandsforhold (Rørdam 1893).

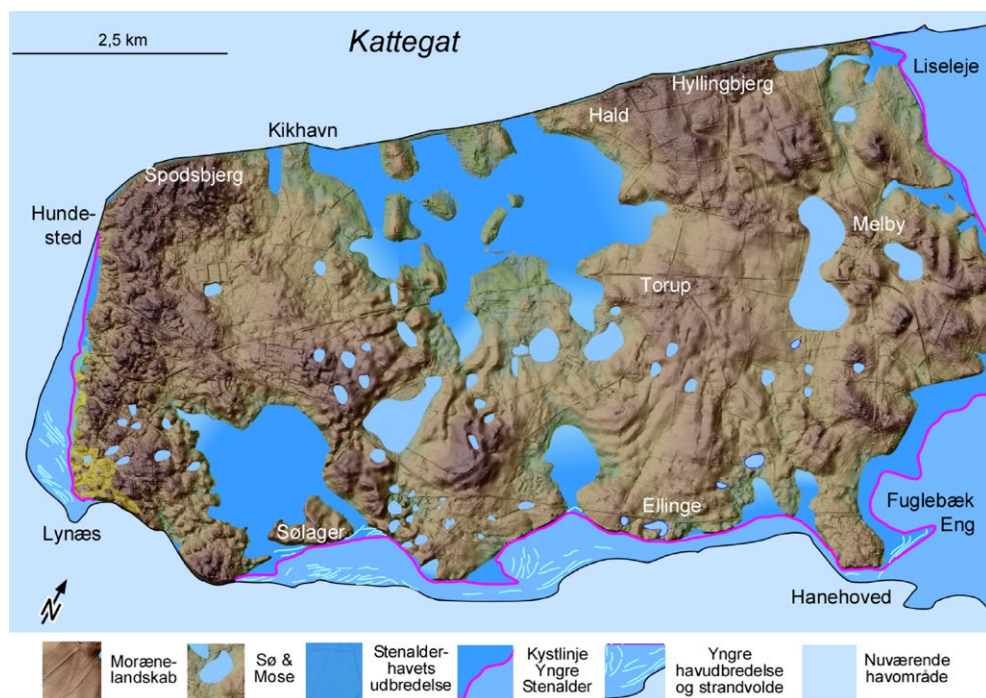
I perioden for 7.500–5.000 år siden, mens havets niveau var på sit højeste, indtraf mindst fire faser, hvor stigning og fald i vandstanden varierede med op til 1 meter, hvilket tilskrives ændringer i styrken af den lokale landhævning kombineret med svingninger i det globale havniveau. Størrelsen af ændringerne er først registreret omkring den tidligere fjord nær Vedbæk, der efter grundige arkæologiske undersøgelser er udnævnt til typeområde for bestemmelse af Stenalderhavets varierende højde. Fire gange svingede datidens vandspejl i fjorden mellem 4 og 5 meter over det nuværende havniveau i perioden for mellem ca. 8000 år og 4500 år siden (Christensen 1981). Tilsvarende havspejlsændringer er sandsynligvis fortsat i tiden herefter (Madsen 1942; Svendsen 2023), men er mindre kendt og sværere at registrere på grund af den fremadskridende kysterosion i Nordøstsjælland.

Hvor bølger og strøm kunne angribe odder og næs, begyndte dannelsen af kystklinter allerede tidligt i Stenalderhavets levetid. Dette medførte transport af sand og grus langs kysten, hvorved der blev dannet odder og strandvolde i læ af morænelandets frem-spring, mens smalle indløb til de beskyttede vige og fjorde efterhånden lukkede til. Denne udvikling er særlig tydelig på Halsnæs, hvor der foran de tilsandede tærskler til Littorinahavets indre fjorde opstod en tilgroningskyst med hævede strandvolde mod Roskilde Fjord mellem Sølager og Fuglebæk Enge (Fig. 66). Kattegatkysten derimod har siden Stenalderen

været veleksponeret for storm og bølger, hvorfor den udlignede kyststrækning her er af nyere dato.

Stranddannelser efter disse tidlige justeringer langs Kattegatkysten er kun sjældent bevaret (Henriksen & Jessen 2015), idet de fleste spor heraf må have befundet sig uden for den nuværende kyst men, hvor kysten har ligget i læ for de fremherskende nordvestenvinde, er hævede strandaflejringer og tilgroningskyster bevaret. Sand og grus fortsatte ubønhørligt med at afsnøre de indre fjorde og vige fra det åbne hav, og til slut blev de omdannet til brakvandslaguner og senere ferskvandssøer, der sluttelig forsumpede. Hvornår afsnøring af Stenalderhavets fjorde og vige fandt sted, er der ingen sikker viden om, men indløbet til de lavvandede områder blev sandsynligvis spærret af strandvolde og tilsanding nogenlunde samtidig. Isolering fra Kattegat og andre større fjorde kunne være afledt af et havniveau-fald på ca. 3,5 meter ved overgangen mellem Stenalder og Bronzealder i tidsrummet for ca. 4.500 til 3.500 år siden (Clemmensen *et al.* 2012). Faldet skyldes både den fortsatte landhævning og ikke mindst klimaændringer mod køligere forhold, hvor fornyet vækst af isskjolde og gletsjere førte til sænkning af havniveau. I laguner bag strandvolde og inddæmmede fjorde afsattes mudder og sand, og efterhånden som erosionen mindskedes, fandt den tilgroning og forsumpning sted, som i dag kendetegner de tidligere havdækkede områder.

Efterfølgende blev erosionen af morænelandet stadig mere vedvarende og intens. Odder og strandvolde vandrede med strøm og bølger langs Kattegatkysten og ned i Øresund som følge af de fremherskende



**Fig. 66.** Landskaberne på det sydlige Halsnæs. Littorinahavets beskyttede fjorde og vige afsnøredes ved slutningen af Stenalderen, hvorefter strandvoldssletter omkring Lynæs og ved Liseleje dannedes ved nedbrydning af morænelandet og tilgroningskyster opstod i læ for den fremherskende vestenvind. Afspærringerne langs Kattegatkysten er af nyere dato.



vestenvinde. Den nuværende retlinede kyst er det modne stadium af udligningskystens udvikling gennem mere end 4000 år og hvis stranddannelser ligger neden for de gamle kystkliner. De højtliggende strandvolde og gamle kystkliner langs Nordkysten er efter alt at dømme en følge af højvande under stærk storm, der var ledsaget af mere køligt og fugtigt miljø, der fulgte efter Stenalderens milde klima, dog mens der stadig herskede relativt højt havniveau.

### Den marine udvikling langs NØ-Sjællands Kattegatkyst

Landskabet mellem Kattegat og Arresø omfatter to klart adskilte terræner nemlig en lukket fjordmunding og et bakket morænelandskab. De tidligere sunde, som forbandt fjorden i Arresø med Kattegat og Roskilde Fjord, udgør i dag lavtliggende, sandede, ganske jævne og tilgroede flader, der sjældent 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 kystkliner fra Stenalderhavets tid.

Undersøgelser af lagene i en boring i den vestlige del Arresø giver et vigtigt indblik i Littorinahavets udvikling, som også gælder større dele af NØ-Sjælland (Bennike *et al.* 2017). Lagfølgen i boringen viser (Fig. 67), at sand og grus med planterester dækkes af knap 3 meter marint ler og sand fra Arrefjordens første marine fase, indeholdende en rig skalfauna, der bl.a. tæller østers og strandsnegl. Herpå ligger et tyndt lag lagdelt mudder (ler og silt) med et karakteristisk indhold af dafnier hjemmehørende i ferskvand og tilsyneladende uden marine skaller. Den anden marine fase er domineret af gytje afsat i havvand med højt indhold af organiske rester med en mere artsfattig marin fauna, der bl.a. tæller hjertemusling og blåmusling. Boringens øverste knap 2,5 meter består af ferskvandsgytje med en fauna afsat i en lavvandet sø.

Datering ved hjælp af kulstof-14 har bestemt alderne på de marine faser til at have fundet sted mellem Jægerstenalder og Jernalder (første marine fase: 8.500 til 6.500 år, anden marine fase 6.200 til ca. 2.500 år, og fra 2.500 år overgang til søstadiet). Vandstanden i bassinet forblev i samme niveau ca. 4 meter over nuværende havniveau, mens de omgivende havom-

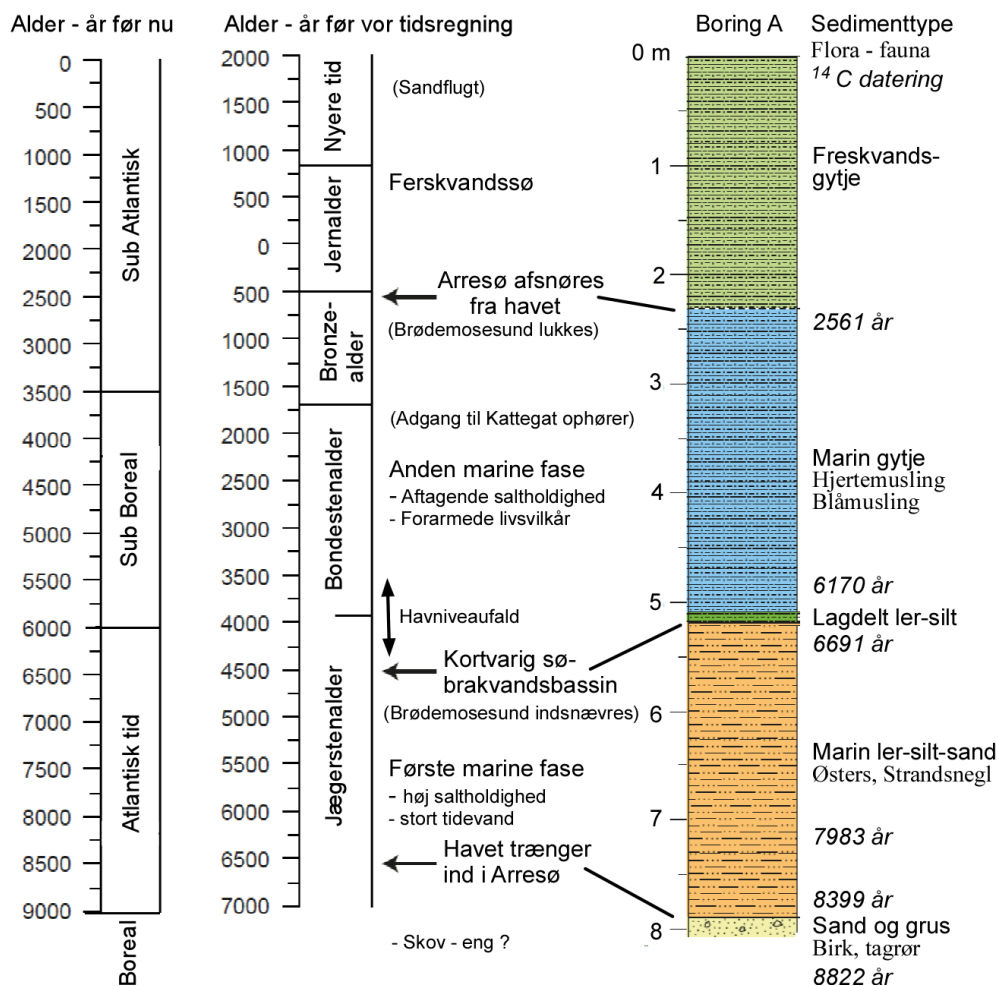


Fig. 67. Skematisk fremstilling af Arresø og omliggende områders udvikling på baggrund af boredata (Bennike *et al.* 2017). Tidsangivelse for begivenheder (i parenteser) er usikker.

råder blev udsat for faldende vandstand på grund af landhævning. Sent i Middelalderen og især i Nyere tid steg vandstanden i Arresø yderligere, fordi Bydinge Å, der afvandede søen nord om Arrenakke, efterhånden blev dæmmet op af flyvesand og klitter.

Søens historie afspejler begivenheder af både global, regional og lokal oprindelse. Havets indtrængning i lavningen ved Arresø skyldes afsmeltning af de sidste store isskjalde inklusive det i Grønland og på Antarktis, som uden at smelte helt bort, havde tilpasset deres størrelse til de mere varme klimabetingelser. Det efterfølgende langsomme men stadige fald i havniveau er knyttet til den hævn af jordskorpen, der fandt sted med en vis forsinkelse efter afsmeltning af isskjoldet over Skandinavien. Flere abrupte fald i havniveau bl.a. ved overgangen til Bondestenalderen og Bronzealderen må tilskrives begyndende gletsjervækst i de polare egne og højfjeldsområder grundet fald i de regionale temperaturer på de høje breddegrader.

### Oversvømmelse og kystændringer

Fastlandstiden ophørte, da havet atter trængte ind i det sydlige Kattegat og Bælterne for omkring 9000 år siden. Boringen i Arresø har godtgjort, at havet var trængt over den lavvandede tærskel mellem Melby Overdrev og Asserbo og gennem Brødemose Sund ind i Arrefjorden for omkring 8.500 år siden. Havstigningen fortsatte og Stenalderhavet nåede sin maksimale højde omkring 1.500 år senere (Fig. 57). Herefter forblev Arresø gennem mere end 4.000 år en havbugt med højt havniveau, der både havde forbindelse til Kattegat gennem det brede farvand mellem Liseleje og Tisvildeleje, og var forbundet med Roskilde Fjord via et smalt, men dybt sund nord for Frederiksværk kaldet Brødemose Sund (Fig. 68).

Havet var også trængt ind i smalle dale i landskabet, som f.eks. den der i dag er optaget af Ellemosen, og mod øst nåede vandet at trænge frem til det lave land ved Store Lyngby og helt op i Pøleåens nedre løb syd for Annisse. De gamle kystklinter ses flere steder langs Arresøens bredder. Indtil for knap 4.500 år siden forblev havspejlet i samme niveau i Arrefjorden og var i begyndelsen præget af høj saltholdighed, stærke bundstrømme og betydelige tidevandsforskelle, hvilket betød at østers var almindelig. Den gode vandudskiftning mellem de indre dele af Arrefjorden og Kattegat og Roskilde Fjord blev befordret af de dybe render, der løb gennem Brødemose Sund (Fronval & Jensen 1992), men kunne hæmmes af landhævning og oddedannelse. Udbygning af krumodder tog for alvor fat, så snart havet havde nået sit højeste niveau og med udgangspunkt i nu forsvundne landområder nord for Liseleje, blev sand og grus ført ind i fjorden mod Arrenakke eller fra klinterne ved Lerbjerg ud mod Asserbo.

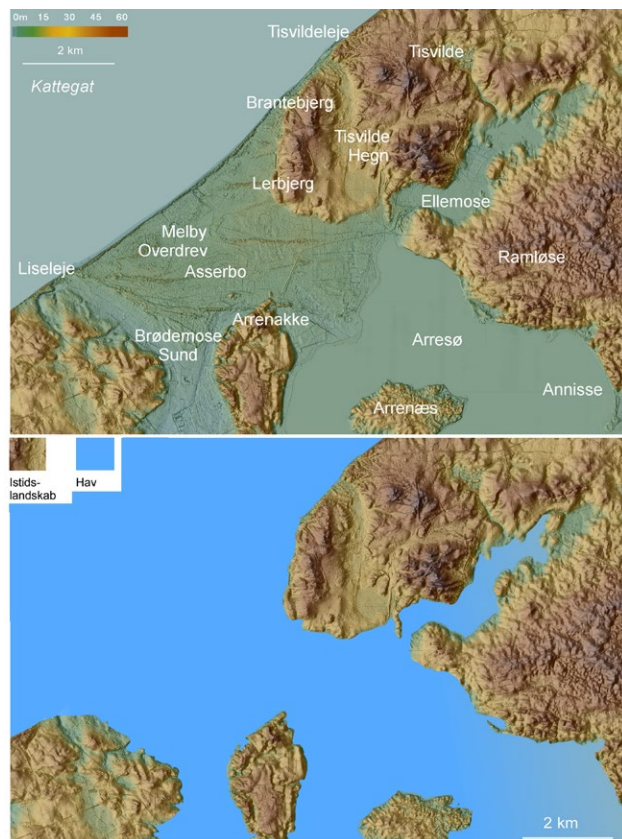
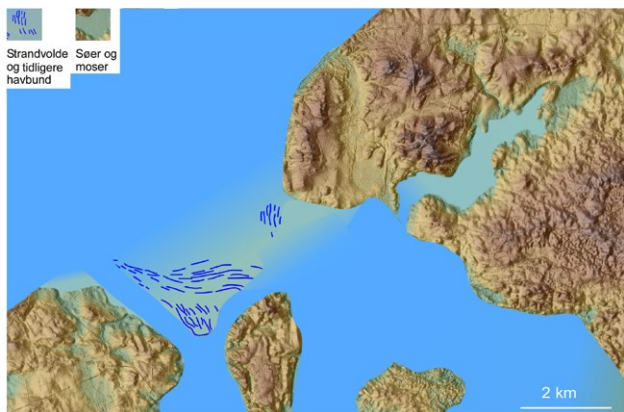


Fig. 68. Området mellem Kattegat og Arresø. Terrænmodel (øverst); udbredelsen af Littorinahavet (nederst).

Fjordforbindelsen blev for ca. 6.500 år siden kortvarigt afbrudt, hvilket medførte, at forhold med brak eller ligefrem ferskvandforhold blev fremherskende i nogle århundreder. Denne hændelse kunne skyldes en eller flere af de stigninger og fald i Stenalderhavets niveau på knap en meter, som er registreret i andre tidligere fjorde f.eks. Søborg Sø og Vedbæk (Christensen 1981). Men også udbygning af krumodder på fjordens smalleste sted ved Brødemose Sund kunne have medvirket til afsnøring af det smalle og lavvandede farvand. Forbindelsen igen etableret og Arresø blev atter en del af Stenalderhavet, men nu under forandrede omstændigheder (Fig. 69). Det forholdsvis lavvandede indløb til Arrefjorden over tærsklen ved Melby Overdrev og Asserbo blev hængselpunkt for krumoddernes udbygning og dannelse af strandvolde i bølgeslagszonen. Alderen på skaldynger i den indre del af fjorden viser, at strandvoldenes indtog allerede havde fundet sted i Ældre Stenalder, og de noget yngre oldtidshøje beliggende på strandvolde i kanten af Brødemose Sund viser, at indsnævring af den brede fjordforbindelse allerede havde været en realitet siden Yngre Stenalder.

Væksten af odder og næs betød, at allerede sent i Ældre Stenalder havde jægere gjort ophold neden for





**Fig. 69.** Udbygning af krumodder og dannelse af strandvolde på den flade tærskel mellem Kattegat og Arresø medførte indsnævring af Brødemose sund, dårligere vandudskiftning og mere forarmede marine forhold i Arresø.

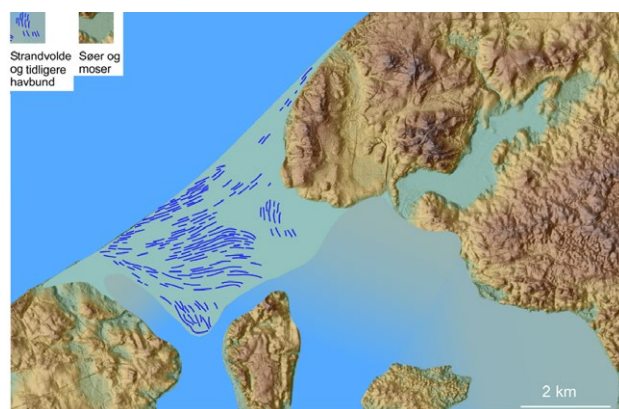
Arrenakkes gamle kystklint på den hævede kystslette ved Brødemose Sund. I Bondestenalderen mere end tusind år senere havde folk slået sig ned i permanente samfund og efterladt sig adskillige gravhøje i området. Selv på dette tidspunkt må forbindelsen mellem Arresø og Kattegat stadig have eksisteret, men herefter var det snart slut, og forbindelsen blev endelig afbrudt ved overgangen til Jernalderen for omkring 2.500 år siden. Omkring dette tidspunkt havde strandvoldssletten altså i et stykke tid spærret helt for indgangen fra Kattegat samt yderligere indsnævret fjordens forbindelse med Roskilde Fjord gennem Brødemose Sund. I perioden for mellem 6.200 år til 2.500 år siden, blev miljøet i fjorden således langsomt men ubønhørligt mere og mere forarmet. Den marine fauna blev fattigere, østers var forsvundet og vandudskiftningen blev forringet, både på grund af faldende havniveau kombineret med landhævning og en svagere tidevandsaktivitet, hvilket medførte at vandet i Arrefjorden med tiden blev stadig mere brak.

### Arrefjorden lukkes

Da den yngste episode med høj vandstand i Stenalderhavet var forbi, blev et langvarigt fald i vandstanden omkring NØ-Sjælland sat i gang. 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 havstrømme gik til angreb på kysterne, og udviklingen imod en mere retlinet kyst på tværs af den dominerende vindretning tog fat, en udvikling hen imod den udligningskyst vi kender i dag. Istidslandskabet, der strakte sig længere ud i Kattegat end i nutiden, blev udsat for voldsom erosion og nedbrydning. Sand og grus blev fjernet og transporteret langs kysten for at ende som odder og strandvolde. Dette havde allerede

stået på i den indre og kystnære del af Arrefjord, men med tiden blev stadig mere og mere materiale lagt til strandene omkring Asserbo og Melby Overdrev, hvorved kysten bredte sig længere og længere ud mod det, der nu er den moderne Kattegatkyst (Fig. 70).

I løbet af de ca. 3 tusind år mellem bondestenalderen og tidlig jernalder voksede den sandede og stenede strandvoldsslette mellem Liseleje, Tisvildeleje og Arresø frem. Det er strandvoldene i det indre af sundet, der er ældst, idet de her er hævet til det højeste niveau på strandvoldssletten, nemlig mellem 6 og 7 meter over havet. Jo længere ud gennem Tisvilde Hegn og Asserbo mod den nuværende kyst, desto lavere ligger strandvoldssletten, samtidig med at aldrene falder. Hævning og udbygning af strandvolde førte til lukning af indløbet ved Liseleje, hvilket betød tiltagende brakvandsforhold og medfølgende forarmning af den marine fauna i den sene del af Arrefjordens levetid. Bag strandvoldene opstod rækker af lave kystklitter og tæpper af mindre sandtuer.



**Fig. 70.** Model af den yngre del af den marine udvikling mellem Kattegat og Arresø. Adgang til Kattegat blev lukket af odder og strandvolde.

### Klinten ved Liseleje

Efter stormvejr er den lave kystklint ved Liseleje ofte frilagt og lagene i klinten vil i begrænset tid være synlige, indtil det hele igen skrider sammen. Tæt under landingsstedet kunne lagfølgen tidligere ses i detaljer (Fig. 71), men er nu dækket af et brystværn med store sten brugt til kystbeskyttelse. Lagene er afsat i perioden, der dækker Stenalderhavets højeste vandstand, Arrefjordens lukning, hævning og tilgroning samt den moderne sandflugt. Nedbrudt materiale fra klinterne på Halsnæs blev ført forbi Liseleje og ud i munden af indløbet til Arresø med retning mod Melby Overdrev. Lukningen begyndte med dannelse af odder på nogle meters vanddybde, som senere blev afløst af strandvolde dannet i bølgeslagszonen, som endte med tørlægning, overgroning og deraf følgende jordbundsdannelse.

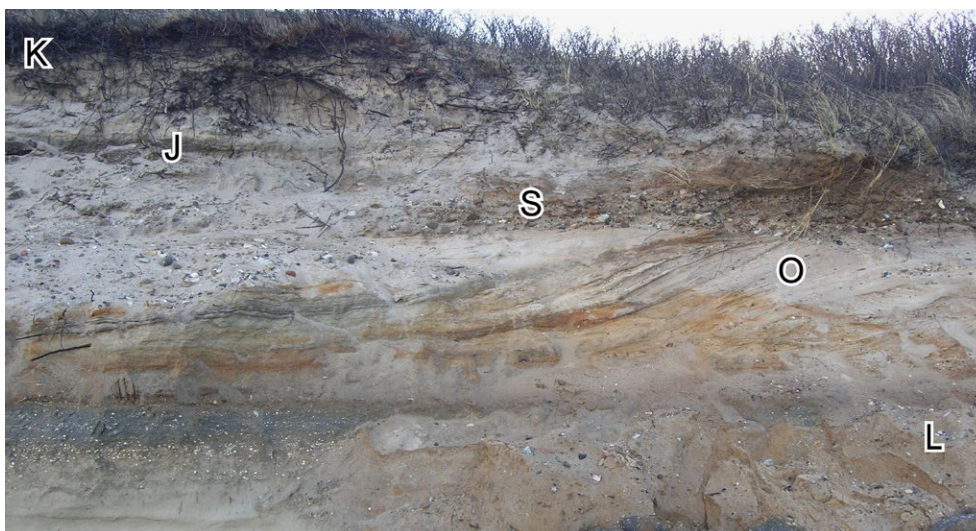
I den stejle skrænt ses Stenalderhavs mudrede bund (L) bestående af gråt skalførende ler med store mængder af især hjertemusling og strandsnegl. Ind imellem findes lag af sand med spor efter gravende organismer. Herpå følger sandede og grusede aflejringer, der hælder mod nord, og som er dannet af odder ved udbygning langs kysten i retning mod Tisvildeleje (O). Oddesandet afsluttes opadtil af grusede og stenede strandvoldsdannelser dannet i bølgeslagszonen (S). Da området kom oven vande som følge af ophobning af sediment og landhævning, slog en sparsom vegetation rod og en jordbund blev 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 sidste århundrede, aldersbestemt ved bl.a. fund af ølkapsler og blåmaljeret køkkengrej (K).

### Stenalderhavets udbredelse

Selve den varmekrævende og diverse marine fauna og de omgivende landområders vegetation er velkendt, ligesom udbredelsen af jægerkulturernes bopladser langs kysterne er grundigt kortlagt, men hvor langt Stenalderhavet egentlig trængte ind i lavninger og tidligere floddale i NØ-Sjælland, er omgærdet med en vis usikkerhed. De landskabsmæssige spor efter det høje havniveau giver sig ikke særligt til kende i det indre af de små og lavvandede fjorde og vige og, hvis en samlet rekonstruktion af fordelingen af hav og land skal forsøges, skal det tages med i vurderingen, at den efterfølgende udligning og ændring af kystprofilen betyder, at størrelsen og udseendet af det land, der måtte have ligget uden for den nuværende kyst, og som er fjernet ved erosion, er helt ukendt. Littorinahavets periodevis vandstandsændringer på op til 1 meter har også kunnet spores i Søborg Sø (Iversen 1937). Fordi det smalle indløb til Søborgbas-

sinet ved Ålekiste Bro ligger i omtrent 5 meters højde, har fjorden kun fået tilført saltvand, de fire gange havniveau rakte over tærsklen, og indimellem har der hersket brak- eller ferskvandsforhold. Det samme må have været tilfældet i de inderste dele af de andre smalle fjorde som Esrum Fjord, Pandehave Fjord og noret mellem Horneby Fælle og Hornbæk.

Der findes to anskuelser for, hvor dybt Stenalderhavet trængte ind i land, én, der opererer med en større udbredelse (Rørdam 1893) og én som går ind for en mere begrænset udbredelse (Milthers 1935). Når de to forskellige opfattelser skal vægtes mod hinanden, bunder årsagen til forskelligheden måske ikke så meget i, om man regner med middelvandstand over flere tusind år eller korte perioder vekslende med høj og lav vandstand. Den formodede udbredelse har i begge tilfælde støttet sig til et skøn dels over fjordbreddernes højde inde i land, hvor klinger og stranddannelser er en mangelvare, dels på opmålinger af strandvoldenes højde langs Kattegats kyster. Det sidste har imidlertid ikke kunnet tages som direkte indicium for Littorinahavets højeste vandstand, idet de højest beliggende strandvolde anses for afsat i tiden efter, at havniveau havde kulmineret. Da strandvolde langs Kattegatkysten i dag dannes et stykke over middelvandstanden i forbindelse med storm og pålandsvind, bliver det bedste skøn over middelvandstanden for Stenalderhavet 6,5–7 meter, nemlig strandvoldenes højde fratrullet 2,5–3 meter (Madsen 1942). Den anslåede højde gælder imidlertid kun for kystområderne mellem Gilleleje og Hornbæk og fordi hævnningen har været mindre mod syd, har også den beregnede højde for havspejlet i det indre af fjordene måttet reduceres i forhold til de beregnede isobaser over den relative landhævning (Mertz 1924). Et eksempel på disse usikkerheder er udbredelsen af Stenalderhavet i det nordligste Sjælland (Fig. 72).



**Fig. 71.** Kystklint ved Liseleje. Mudder og sand med marin lavvandsfauna (L) dækket af sand og grus fra en krumodde (O), der er vandret mod nord (venstre). Oddesedimenterne overlejres af stenet strandgrus (S) hvorpå en jordbund (J) er udviklet. Lagfølgen slutter med flyvesand og klitter (K). Profilet er ca. 3 meter højt. Foto M. Houmark-Nielsen (2004).





**Fig. 72.** Stenalderhavets største udbredelse for ca. 7.500–5.000 år siden (blå). Højeste kystlinje ligger ca. 6,5 meter over nuværende havniveau i områdets nordlige del. Dannelse af den moderne udfligningskyst og aflejring af nutidens kystdannelser (turkis) begyndte for ca. 4.500–3.500 år siden og er siden tiltaget i styrke grundet klimaændringer og havniveau-fald.

Det er f. eks ikke klart, om den fortidige Søborg Fjord var forbundet med Esrum Fjord eller, hvorvidt den vestlige del af Bedsmose Sund og Keldsø-lavningen har været en del af fjordsystemet eller blot udgjort en del af de brakvandsområder, der fandtes inderst i de oversvømmede lavninger. Her støttes maksimummodellen af geologiske data, idet marine muslinger og snegle er fundet i borer (Rørdam 1893), på trods heraf ignoreredes disse i minimumsmodellen.

Den maksimale udbredelse af Stenalderhavet kan derfor ikke besvares til fulde og sikre data, der fastsætter hvor havet rent faktisk har været, er få. Desuden er grænsen mellem datidens hav, sø og mose, mellem salt, brakt og ferskt svært at trække, når vandstanden i fjordene har varieret med en meter flere gange. I kortet Fig. 64 er der taget forbehold for de nævnte usikkerheder, men med en større datamængde vil andre og mere pålidelige udformninger sikkert kunne bringes i spil.

### Klinter og hævet kystland

Da Littorinahavet brød ned gennem det sydlige Kattegat og ind i Østersøen, blev det bølgede morænelandskab i Nordøstsjælland fra første færd udsat for erosion og nedbrydning. Nogle tusind år senere ændredes strømmingen langs kysterne, storme blev hyppigere og kystlandet hævede sig, hvilket førte til kraftig øget erosion, tilsanding og deraf følgende lukning af fjordmundingerne og forsumpning af de tidligere lavvandede fjorde. Halvøer og andre frem-spring blev nedbrudt, og der opstod større kystklinter langs hele Nordkysten, mens sand og grus blev læs-

set af på forstranden, der voksede sig større og større efterhånden som landhævningen løftede de gamle strandvolde op over bølgenes rækkevidde.

Højtliggende terrasser dannet af bølger er truffet i knap 10 meters højde langs den gamle kystklint mellem Lerbjerg og Tisvildeleje (Madsen 1942), og såfremt klintfodens højde kan tilskrives Stenalderhavet, må bølgenes kraft under pålandsstorm have været anseelig.

Stenalderhavets klintfod mellem Hornbæk og Helsingør ligger ca. 8 meter over nuværende havniveau, men denne højde afspejler imidlertid ikke Stenalderhavets middelvandstand, men viser det niveau, hvortil bølger og strøm under højvandsstorme kunne nå op af kystskrænten, således må strandvoldene i ca. 10 meters højde visse steder langs Nordkysten være afsat under ekstremt højvande og storm. På forstranden mellem Gilleleje og Helsingør findes kystaflejringer i tre etager (Fig. 73). En ældre etage tilhørende Stenalderhavets stranddannelser når op mod 8 meters højde og en yngre noget lavere findes i ca. 6 meters højde, hvor sand og grus blev afsat under et sænket havniveau i begyndelsen af Jernalderen (Madsen 1942). Desuden synes et tredje niveau omkring og lidt under 4 meter at optræde visse steder, sandsynligvis er det dannet under den sene Jernalder eller tidligt i Middelalderen. De tre niveauer med stranddannelser afskæres af lave kystklinter, den ældste og højest beliggende klintfod er fra Stenalderhavets sene periode, den mellemste, blev udviklet på grund af faldende havniveau og

klimaforandringer i slutningen af Bronzealderen eller begyndelsen af Jernalderen, mens en yngre sandsynligvis daterer sig til perioden Sen Jernalder og Tidlig Middelalder (Svendsen 2023). Den nuværende kystklint er dannet under højvandsstorme og når ca. 2 meter over daglig vande og danner den øvre grænse for nutidens stranddannelser.

Havde landhævningen siden Stenalderen været enerådende, ville kysten i dag bestå af blot ét strandplan med svag hældning mod havet. Men under de seneste 6000 år har klimaændringer ført til korte episoder med faldende vandstand grundet trinvis opbygning af gletsjere og isskjolde i polare egne, efterfulgt af perioder med et mere stabilt niveau i verdenshavene. Samtidig med den igangværende landhævning, blev kraftige højvandsstorme fra vestlige retninger hyppigere, hvilket satte yderligere skub i dannelsen af kystklinter med tilhørende erosion og materialetransport langs kysten. Disse ustabile forhold betød også aflejring andre steder langs kysten i form af voksende strandvoldssletter og udbygning af krogede odder med bagved liggende laguner. Kysten ud for Helsingør er et tydeligt eksempel herpå (Fig. 74). Siden den sene del af Stenalderen er sten, grus og sand vandret langs nordkysten rundt om Gilleleje og ind i Tragten i det nordlige Øresund. Materialet er læsset af, hvor Øresund er snævest. Her har strandplanet bredt sig ud og en stor krumodde af sand og grus er vokset stadigt større ved aflejring via strøm og bølger fra

vest, samtidig opstod en lavvandet lagune i læ af odden nemlig der, hvor Helsingør havn er anlagt.

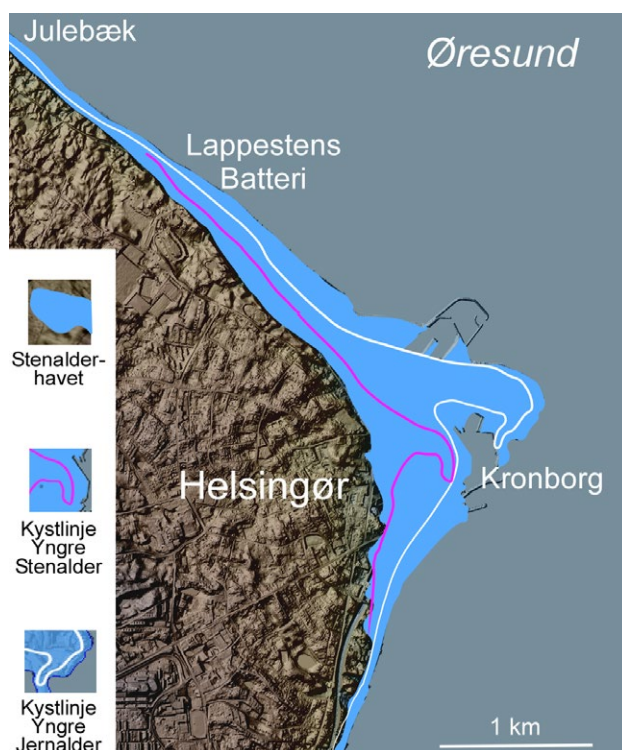


Fig. 74. Det marine forland ved Helsingør efter Svendsen (2023). Materialevandring fra nordvest har dannet et større oddekompleks, hvorpå Kronborg senere blev bygget. Helsingør havn er anlagt i læ af odden.

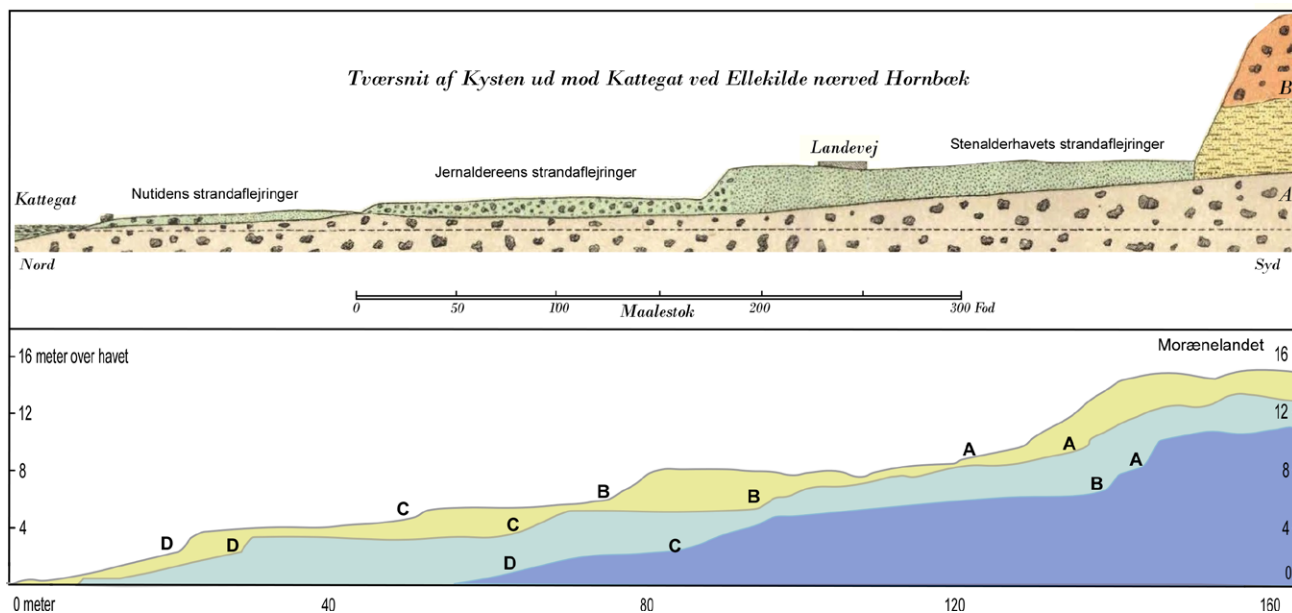


Fig. 73. Øverst: Profil gennem kystlandet ved Ellekilde Hage nær Hornbæk (efter Rørdam 1892). Landevejen (Nordre Strandvej) er anlagt på Stenalderhavets hævede strandvoldsslette. Nederst: Tre terrænprofiler gennem kystlandet mellem Gilleleje og Helsingør (turkis: Villingebæk, lysegrøn: Ellekilde Hage, blå: Julebæk). A: Stenalderhavets kystklint, B: Kystklint Bronzealder – Ældre Jernalder, C: Kystklint Yngre Jernalder, D: Nutidens kystklint.



Oddens dannelse og strandens udbygning er sandsynligvis sket i flere trin, hvor erosion er afløst af perioder, hvor strandvolde og krumodder én for én er klistret på kysten. Dette foregik samtidig med udformningen af Stenalderens, Jernalderens og Middelalderens kystklinter, som kan erkendes i snit på tværs af kysten helt ind mod Helsingør.

Den østgående vandring af sand og grus ebber i dag ud efter at have nået pynten ved Kronborg. Denne opbremsning af materialetransporten ind i Øresund har fundet sted siden det begyndende fald i Stenalderhavets niveau, og selvom kystområdet fra Helsingør og sydover også blev udsat for erosion og genaflejring, skete dette under mere rolige betingelser end langs nordkysten. Syd for Helsingør var den dominerende materialevandring langs kysten rettet mod nord, og hvor Stenalderhavet trængte ind i lavninger i morænelandet, opstod vige og smalle fjorde ligesom langs de øvrige af Nordøstsjælland's kyster. Ved Espergærde fandtes en mindre fjord i lighed med Stenalderfjorden i Vedbæk og Langstrup Mose (Fig. 50, 64). I slutningen af Stenalderen blev adgangen til fjorden afspærret af strandvolde, og der opstod en strandsø på de lavest liggende arealer (Fig. 75).

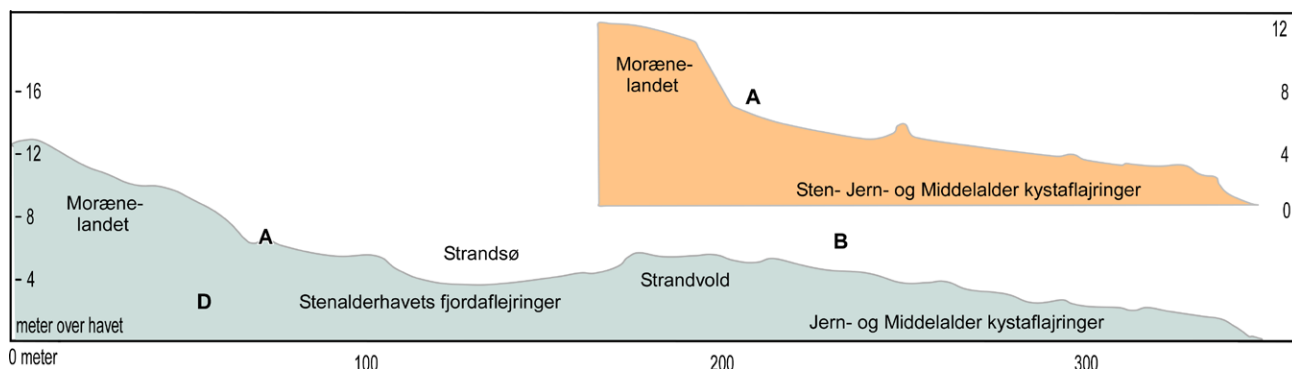
Det maksimale niveau for Stenalderhavets vandstand ligger knap 3 meter højere langs Nordkysten end i Vedbæk. Dette skyldes kun i nogen grad de mere rolige forhold med mindre voldsomme højvandsstorme, der hersker i det indre af Øresund. Højdeforskellen kan hovedsageligt tilskrives den forskel i landhævning, der har fundet sted de seneste 5000 år. I Danmark og Sydsverige er områder i nordøst løftet højere end mod sydvest, hvilket betyder at kystlandet i Vendsyssel og Kullen er løftet ca. 12 meter over det nuværende havspejl, mens NØ-Sjælland må nøjes med 4–7 meter (Fig. 76).



**Fig. 76.** Stenalderhavets kystskrænt i Egebæksvang ved Espergærde. Klintfoden er hævet 6 meter over nuværende havniveau. Foto: K. Tommerup (2019).

## Landhævning og sandflugt

Selvom klitter allerede var blæst sammen langs kysten i Stenalderen, og sandfygning fandt sted tidligere i Jernalderen, nåede klitdannelse og sandflugt sit absolutte højdepunkt i Senmiddelalderen og nyere tid. Tre episoder med sandfygning og ophobning af flyvesand er registreret fra Hammerknuden på Bornholm (Clemmensen et al. 2024). Det fremgår at sandflugt var særlig hyppig i Yngre Dryas, i slutningen af Bronzealderen og især under den Lille Istid, og de tre episoder synes at afspejle en regional kobling mellem køligt klima og sandflugt. Sandflugten havde flere årsager, der på uheldig vis forstærkede hinanden, men det var isvækst i polaregnene og ændringer af strømmingen i Nordatlanten, der førte til køligere klima i Nordvesteuropa, som var ledsaget af en øget hyppighed af storme. Hertil kommer, at forstærkede storm- og lavtryksbaner ramte Europa i Jernalderen og tiltog i styrke op til vor tid.



**Fig. 75.** To profiler gennem kystlandet omkring Espergærde. Stenalderhavets kystkrint (A) ligger ca. 7 meter over nutidens Øresund. Øverst: Den hyppigt forekommende smalle forstrand dannet efter Stenalderhavets højeste vandstand, der læner sig op af morænelandet. Nederst: Smal fjord fra Stenalderhavet skåret ind i morænelandet er afsnøret af strandvold og påklistrede yngre kystaflejring.



**Fig. 77.** Udbredelsen af flyvesand og større klitter i NØ-Sjælland.

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'. Om følgevirkningerne heraf kan siges, at der til de geologiske processer skal føjes menneskelige faktorer så som overgræsning og rovdrift på landskabets ressourcer som udløsende faktorer. I Norge og Alperne skød gletsjerne frem, i Grønland forsvandt nordboerne og herhjemme førte kolde vintre og kølige somre til, at landbruget oplevede misvækst med kummerlige livsvilkår til følge.

Langs hele kyststrækningen fra Hundested og næsten til Helsingør blæste sand fra de hævede kyster og strandvoldssletter med vestenvinden ind over land (Fig. 77). Tynde dækker af flyvesand veksler med tueformede småklitter til næsten 10 meter høje rækker af kystklitter, der især dækker de hævede marine flader omkring Asserbo og bakkelandet vest for Tisvilde samt Hornbæk Plantage.

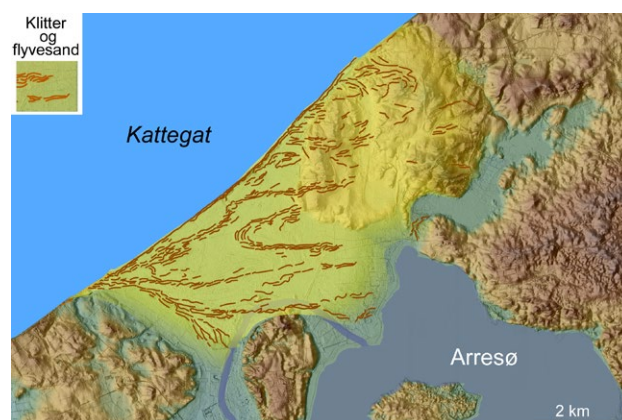
Observationer fra små åbne profiler i terrænet antyder, at arealer med flyvesand visse steder er noget mere udbredt end vist på det geologiske jordartskort (Rørdam 1899; Binderup 2021), hvilket måske kan bero på selve kortlægningsmetoden. Netop derfor kan noget af flyvesandet og klitdannelserne have undgået opmærksomhed i forbindelse med den geologiske kortlægning.

### Sandflugten i Tisvildeområdet

Da havspejlet efter Stenalderen var for nedadgående, fulgte grundvandstanden med. Det drejede sig næppe om et stort fald, men for den flade strandvoldsslette i munden af Arrefjorden fik det katastrofale følger. Med faldende grundvandsstand udtørrede de øverste sandlag, som derved får lettere ved at blæse omkring i landskabet, og samtidig svækkes vegetationen. Når der som følge af vinderosion og overgræsning, også rives hul på vegetationsdækket, kan vældige sand-

mængder hurtigt blive fanget af vinden og gå i drift. Dermed blev grunden til sandflugten lagt. Sandet blev især hentet på strandvoldssletten ved Arrefjordens tidligere munding og i vindblæste hulninger i stenalderhavets kystklitter (Fig. 78). Langs kysten mellem Liseleje og Tisvildeleje findes et næsten sammenhængende bælte af kystklitter med højder på op mod 10 meter. Disse er blot de yngste i en sværm af sammenblæste og langstrakte klitformer bestående af klitrimmer og miler (Binderup 2017), der findes længere inde i land.

Hvor afblæsningen og klitvandringen har været mindre voldsom, blev sandet samlet i småklitter i læ af græstuer, sten eller andet. Her opstod et mere uregelmæssigt, småkuperet, bølget og bumpet terræn, som i høj grad karakteriserer flyvesandslandskabet i Tisvilde Hegn. Overalt i det tidligere opdyrkede moræneland i Tisvilde Hegn findes lange få meter høje rygge af flyvesand, der er aflejret i læ af risgærder, opsat for at stanse sandets indtrængen over markerne.



**Fig. 78.** Strandvoldsslette mellem Kattegat og Arresø og istidslandskabet omkring Tisvilde Hegn dækket af klitrækker og et tæppe af flyvesand dannet i perioden mellem Arrefjordens lukning og moderne tid.



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 flere steder er disse klitrækker kravlet langt ind i istidslandskabet. 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

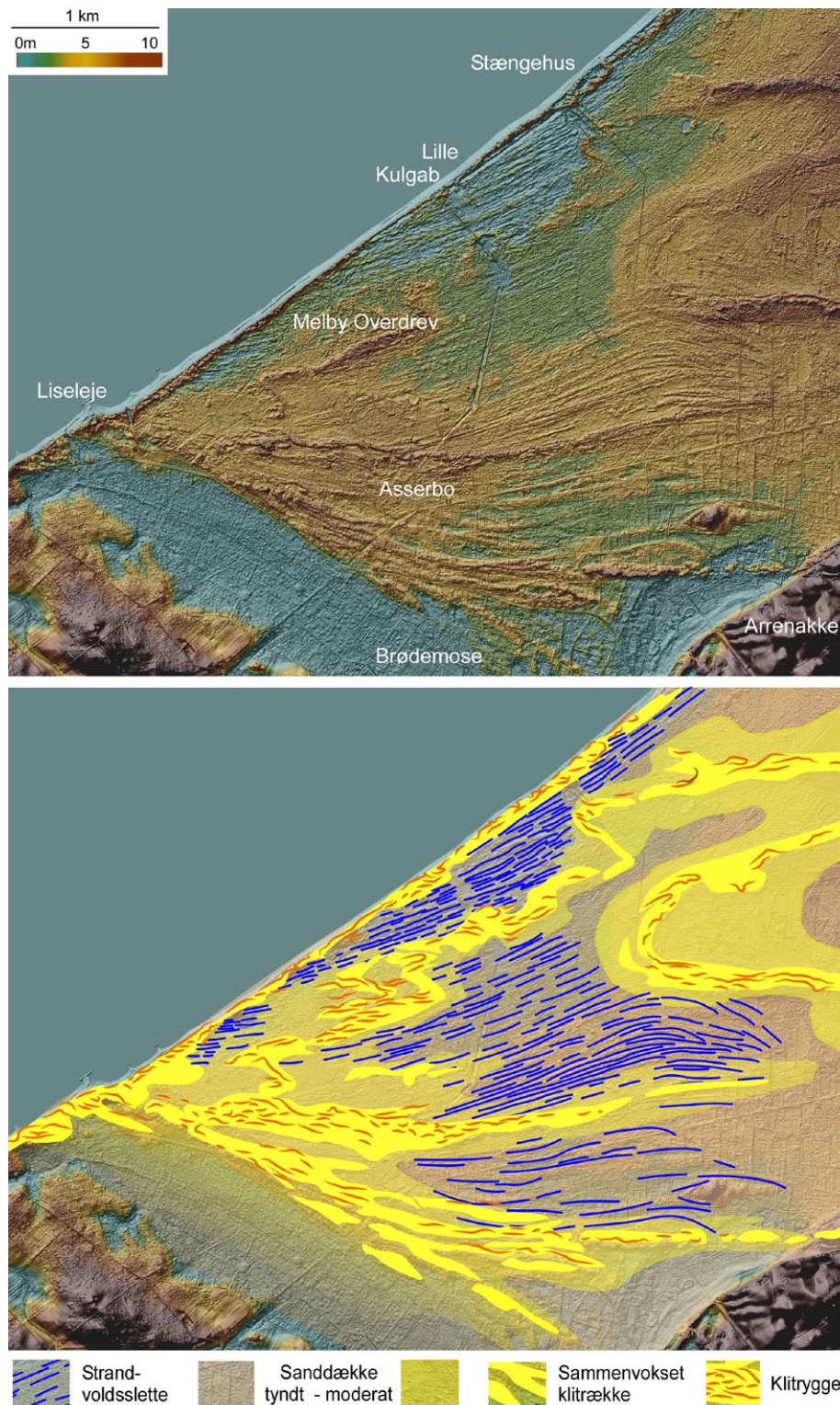


Fig. 79. Landskabsformerne omkring Melby Overdrev.

ned til grundvandet eller, hvis sandet fæg ud over en vandflade som f.eks. Arresø. Afblæsningsflader kan i nutiden ses på den brede sandstrand efter stormvejr. Den endelige standsning af sandflugten blev først sat i værk efter et større projekt med tilplantning i 1800-tallet.

#### *Melby Overdrev*

Omkring Melby Overdrevs gamle skydeterræn er de hævede strandvolde og klitformationerne synlige, fordi vegetationen holdes nede, men overdrevet har en større udbredelse end blot det åbne land, nemlig også der hvor landskabet dækkes af skov (Fig. 79).

Strandvoldssletten på Melby Overdrev er i vekslende grad dækket af flyvesand. Hvor sanddækket er tyndt, træder store arealer med tætliggende strandvolde næsten utilsløret frem i terrænoverfladen. Hvor flyvesandet har en moderat tykkelse, sløres strandvoldene af et bulet og småbakket sandtæppe, hvor igennem de tidligere kystformer stadig kan anes. Strandvolde ligger i lange parallelle baner med retninger omtrent sydvest–nordøst, anlagt langs med den daværende kyst. De højest liggende og ældste strandvolde ligger i områdets sydlige del, hvor de er lagt side om side i bløde buer af sand og grus, der af strøm og bølger er ført fra Kattegat ind i Arrefjordens munding. Jo længere nord og vest på desto lavere ligger ryggene og jo yngre er deres alder.

Langs stranden opbygger flyvesandet langstrakte op til 10 meter høje rækker af kystklitter (Fig. 80). I baglandet, hvor sandlaget er særlig tykt, rager mindre sandrygge op til 5–8 meter i højden over omgivelserne, mens de taber højde længere inde i land (Fig. 79). Ryggene er sat sammen af klitter, bestående af

sand blæst sammen af de fremherskende vinde fra vest. Klitterne, der har et uregelmæssigt relief ofte med stejle sider efter vindbrud, ligger i rækker, der i områdets sydlige del strækker sig i lange bånd fra den nuværende kyst adskillige kilometer ind i land, hvor de når så langt som til Brødemose og Arrenakke. På Melby Overdrev og i Tisvilde Hegn er klitrækkerne i nogen grad ordnet i buede formationer, der i lighed med ørkenernes store barkhan-klitter nogle steder har opnået et næsten halvmåneformet udseende, med åbningen væk fra den fremherskende vindretning. Klitrækkerne fremstår i dag som et fastfrosset ørkenlandskab, velbevaret i skov og overdrev, men mere uklart og nedslidt i de vidtstrakte sommerhusområder.

#### **Sandflugten langs nordkysten**

I kystlandet mellem Dronningmølle forbi Hornbæk til Ellekilde findes en kilometer bred bræmme af flyvesand og klitter (Fig. 81), hvoraf den højeste på ca. 5 meter ved Villingebæk er en rest af et længere klitsystem, som har rod i risgærder opsat til værn mod sandflugt i området hvor det tidligere Dronningmølle teglværk lå (Jarrum 2014). Klitter opstod ofte i læ af risgærder opsat for at standse eller i det mindste dæmpe sandflugten eller andre steder, hvor vinden kunne lægge sig, f. eks. imellem bakkerne i Rusland. Sandflugtsdiger har effektivt standset sandets vandring nord for Saunte og omkring Horneby Fælle. Mindre klitformer er især bevaret i Hornbæk Plantage og naturområdet Rusland. Sandet stammer fra de frilagte og hævede strandområder og har uhindret kunnet drive ind i baglandet, kun bremset af fugtige arealer i de tidligere fjordbunde.



**Fig. 80.** Melby Overdrev. Mindre klitformer bevokset med lyngheder ligger som et tæppe over strandvoldssletten. I baggrunden rækker af kystklitter. Foto: Nationalpark Kongernes Nordsjælland (2021).



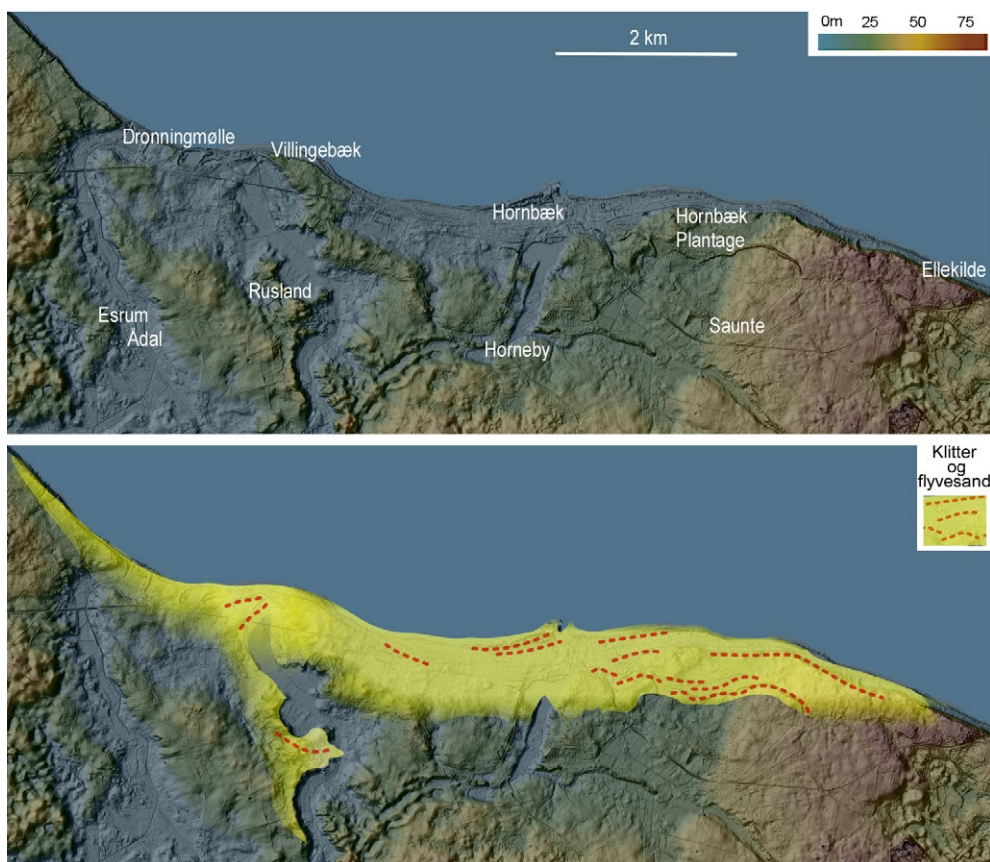


Fig. 81. Flyvesandets udbredelse i Hornbækegnen mellem Dronningmølle og Ellekilde.

### Rusland – et flyvesandsområde

I det ufrugtbare lyngklædte område ved Tegnernes Museum nær Dronningmølle kaldet Rusland ligger et næsten uberørt flyvesandsområde. I en del af det fredede terræn findes en smal skålformet dal gemt i bakkelandet med åbning mod Pandehave Ådal. Her findes lave terrænformer opstået ved stærk blæst og

sandflugt liggende som en kappe over de ældre landskabsformer (Fig. 82). Vestenvinden har fra kystområdet omkring Dronningmølle haft fri adgang til landet mellem bakkerne i Rusland ned til Pandehave Ådal. Gennem de mindre lavninger og dale kunne der under storm skabes et indsnævret vindfelt, hvor flyvesand er blæst ned i lavningerne, hvor det har bredt sig ud mod

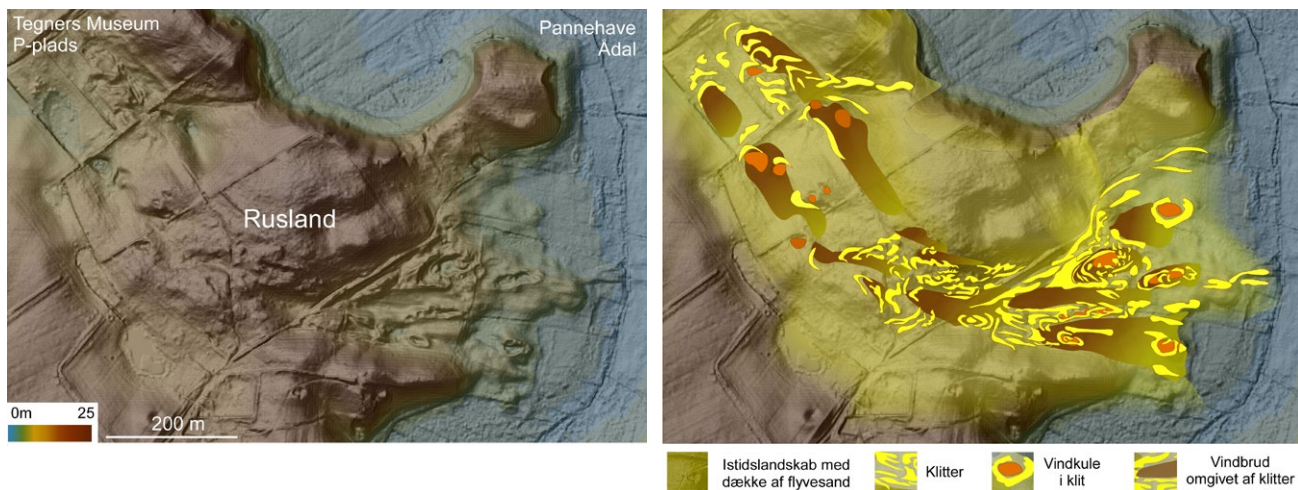
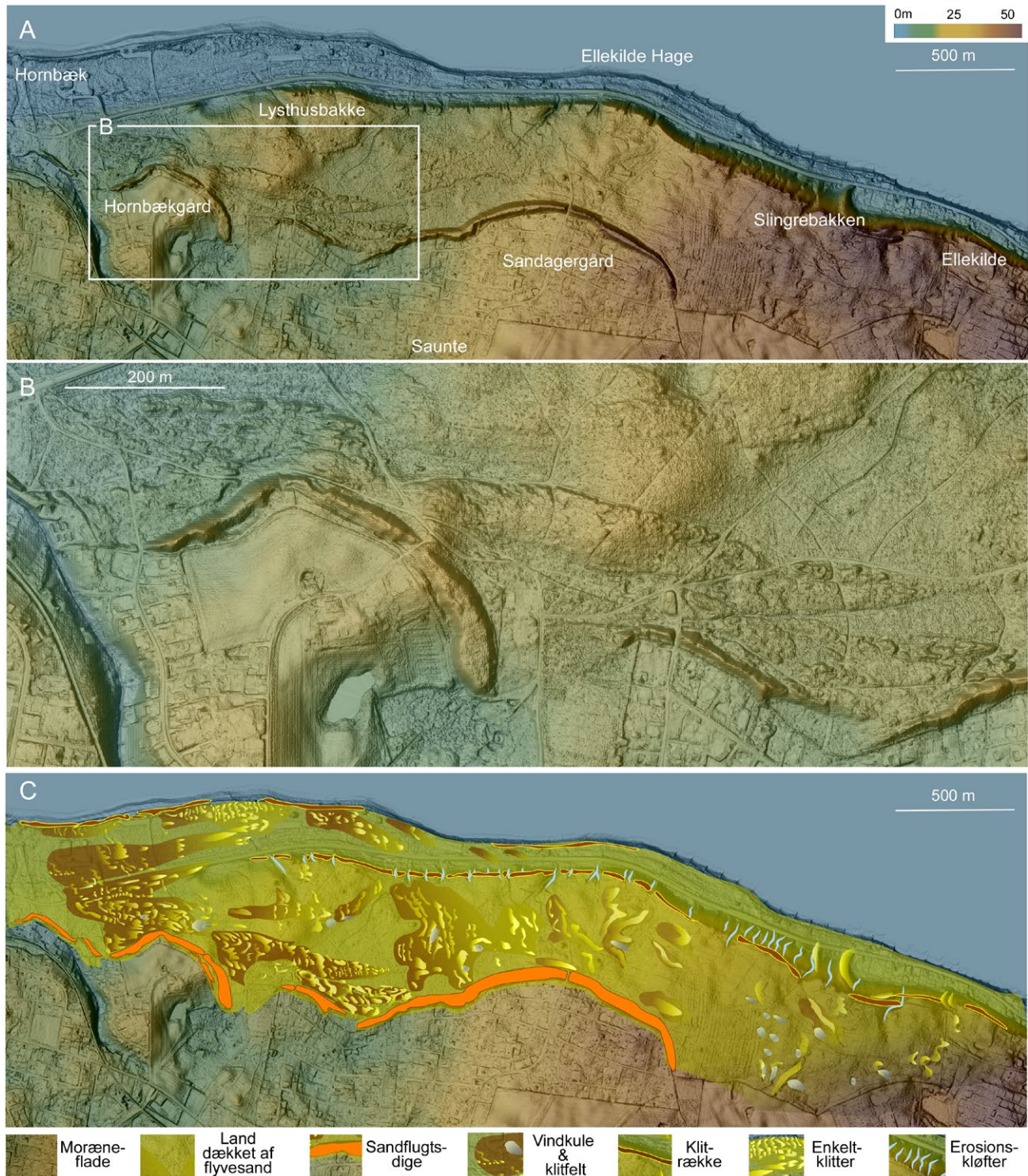


Fig. 82. Flyvesandets udbredelse i Rusland ved Pandehave Ådal.



ådalene. I den østlige del af området har et tungeformet tæppe af flyvesand bredt sig ud over dalens sumpede moseområder, og har næsten spærret for åløbet med en smal dæmning af sand, der lige netop når til den

modsatte dalside. I bunden af de vindblæste lavninger opstod vindbrud i istidslandskabet, som konstant har været leverandør af løst finkornet smeltevandssand, som har lagt sig i lave klitter, der har deres læside



**Fig. 83.** Sandflugtens landskabsformer i Hornbæk Plantage. **A:** Terrænmodel. **B:** Detalje af klitlandskab mellem Saunte og Øresund. **C:** Lange tungeformede klitfelter bestående af mindre bundter af lave enkeltklitter blæst fra vest ind over morænelandet og det marine forland. Sandflugtsdiger opstået bag risgærder har forhindret flyvesandets videre fremfærd.



vendt ud mod ådalen. Sandet er gang på gang flyttet rundt på af vinden, hvilket har bevirket dannelse af gryder og vindkuler, mens klitterne har kannibaliseret hos hinanden således, at der næsten kun er ruiner af hele klitter tilbage. Landskabet fremstår som i dag som fastfrosset i et modent afblæsningsstadium, præget af tueklitter, restklitter, vindbrud og afblæsningsflader.

#### *Sandflugtsområdet i Hornbæk Plantage*

Hornbæk Plantage er anlagt i et kystnært flyvesandsområde langs den nordlige rand af Hornbækegnens moræneflade. Tilplantning fandt sted for at dæmpe den omsiggribende sandflugt, der havde en negativ indflydelse på bøndernes i forvejen forarmede livsvilkår. Fremherskende vestenvinde og stærkere storme i et køligt klima kombineret med overgræsning og rovdrift på ressourcer førte til ødelæggelse af den sparsomme vegetation, hvilket for alvor satte gang i sandflugten ved Middelalderens slutning. I den godt en km brede bræmme langs Hornbækbugten, der blev invaderet af flyvesandet, skjuler sanddækket visse steder helt for de underliggende landskabsformer, men mod øst, hvor dækket tynder ud, anes disse gennem sløret af sand (Fig. 83).

Fladen mellem Ellekilde og Hornbæk falder jævnt mod vest og er skarpt afskåret langs Stenalderhavets stejle kystskrænt. Klinten er furet af erosionskløfter og hvoraf kun meget få har forbindelse via små vand-

løb til terrænet bag klinten. Kløfterne er udsåret af regnvand hjulpet på vej af kildevæld, der har udspring i skræntens sandlag. Neden for skrænten ligger en 100–300 m bred strandvoldsslette ud mod Øresund, hvor kløfternes sløres og udviskes, dog uden helt at forsvinde ved mødet med den hævede forstrand. Den oprindelige kilde til det mobile sand skal findes i kystklinternes mægtige sandformationer, der er synlige i klinten ved Nakkehoved (Fig. 7) og der, hvor den stærke nedbrydning havde frilagt sandet langs stranden. Sammen med tilskud fra den generelle transport af sand langs den nordøstsjællandske kyst, blev den åbne forstrand sårbar over for sandflugt. Det hævede strandplan vest for Hornbæk har været en vigtig kilde til dannelsen af klitområderne mod øst. Fygesandet krøb, rullede og hoppede langsomt men vedvarende fra forstranden forbi Stenalderhavets kystklinter og ind over morænefladen nord for Saunte. Smalle op til 100 meter brede tæpper af sand ledsaget af mindre klitformer har bredt sig mod øst i kilometer lange og tungeformede formationer, som opbygger de større klitfelter særligt i den vestlige del af plantagen, nemlig de arealer der ligger tættest på kildeområderne. Mere lokalt har stranden mellem Hornbæk og Ellekilde Hage også været leverandør, fygesand på den hævede forstrand er blæst videre op ad den gamle kystskrænt, hvor enkelte større klinter er standset på deres vandring mod den højtliggende moræneflade. I



**Fig. 84.** Enkeltklit, set i længderetningen, aflejret i læ bag toppen af Stenalderhavets kystskrænt. Sandet dækker delvist et stendige, der sandsynligvis blev sat inden sandflugten for alvor tog fat. Slingrebakken ved Ellekilde Hage. Foto M. Houmark-Nielsen (2023).

læ bag skrånten opstod et tyndt bælte med lange og smalle klitter på langs af klinten (Fig. 84), mens et slør af fygesand lagde sig over store dele af det kystnære morænelandskab, men hvor langt mod øst sandet nåede er svært at sige, da flyvesandet tynder ud for til sidst at forsvinde. Sandets sydlige grænse ligger langs de flere meter høje sandflugtsdiger mellem Hornbækgård og Sandagergårds jorde, hvor sandet har lagt sig til hvile bag risgærder, som jævnlige blev fornyet efterhånden, som digerene voksede i højden. Først for knapt 200 år siden blev systematisk beplantning i Nordøstsjælland flyvesandsområder igangsat for at dæmpe og i sidste ende bremse sandets vandring ind over land. Sandflugt i kystområderne havde været almindeligt forekommende siden begyndelsen af Jernalderen, men slet ikke i samme omfang som under den Lille Istid.

## Afslutning

### Floddalenes udformning: strejf af NØ-Sjællands geologiske historie

Allerede i slutningen af 1800-tallet var de store floddales opståen og historie i store træk kendt (Rørdam 1892, 1899). Et snit gennem Esum Ådal (Fig. 85) illustrerer lagenes indbyrdes relationer, rækkende fra istidens yngste isdækker til i dag. Efter aflejring af smeltevandsdannelser klemte inde mellem moræneler fra de isfremstød, hvis aflejringer også ses i klinten ved Nakke Hoved (Fig. 8) og grusgravene ved Plejelt (Fig. 12), løb smeltevandsfloder gennem lavninger i landskabet, udgravede den brede ådal og afsatte sand og grus (R). I begyndelsen af Postglaciale tiden medførte lavere vandføring og naturlig dræning i dalen tilgroning og forsumpning med aflejring af f.eks. tørv m.m. (T). Med Stenalderhavets indtrængning i dalen afsattes skalførende marint ler og sand afsat på lavt vand, men som følge af landhævning trak havvandet

sig ud af dalene, og de tidligere fjorde blev herefter udsat for forsumpning og aflejring af tørvedannelser.

### Pandehave Ådal: Flod – fjord – flyvesand

Den geologiske udvikling omkring den senglaciale floddal, hvor Pandehave Å i dag løber og som er nabo til Esum Ådal, fortæller om hvilke store miljømæssige forandringer dalen og dens omgivelser har været udsat for siden sidste istids afslutning; her belyst gennem tre episoder i Sen- og Postglacial tid (Fig. 86).

Første episode omfatter forholdene i Senglacialtiden for omkring 17.000–15.000 år siden, en periode hvor smeltevandsfloder fra munden af tunnel-dalen ved Havreholm Ås løb ud i lavningerne mellem de ældre randmorænebakker og hvor gletsjerne efterhånden smeltede tilbage og blev til dødis (Fig. 86A). De yngre randmorænebakker strækker sig fra Villingerød forbi Hellebjerg, nord om Havreholm til Horneby. Smeltevandet løb fra gletsjerranden ud i floddale, hvoraf én fulgte lavningen mod vest forbi Villingerød til Esum Ådal og en anden fortsatte mod nord forbi Rusland og Horneby Fælle til Villinge-bæk. Da Bælthav Isstrømmen gik i stå, forblev vandføringen i floderne høj, idet dødis i baglandet stadig var leverandør af store mængder smeltevand. På flere strækninger har dalen stejle sider som følge af flodernes erosion i dalens bugtninger. Mindre til-løb fra isranden eller dødisforekomster i forlandet bidrog også til vandføringen. Fordi smeltevandsdalen tilsyneladende ligger i lavere niveau end lerforekomster ved Dronningmølle, kan vandet have løbet forbi issøbakken mod munden i det arktiske Kattegat, der har befundet sig et ukendt stykke vej uden for den nuværende kyst, men relationen mellem lerforekomsterne og smeltevandsfloden er ikke klarlagt til bunds.

Anden episode i dalens historie illustrerer forholdene i en del af Oldtiden (Fig. 86B). Mod slutningen af Jægerstenalderen for godt 8.000 år siden var havet steget til et niveau, hvor Fastlandstidens tilgroede ådal blev oversvømmet. Stenalderhavet rakte under

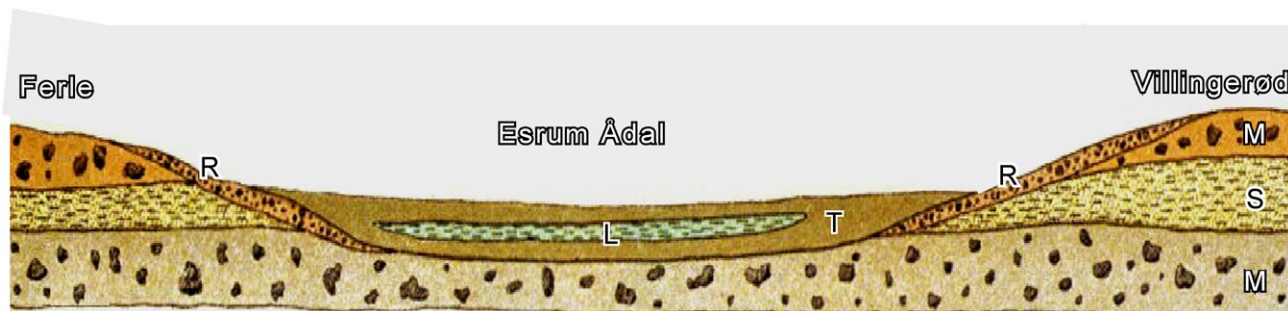
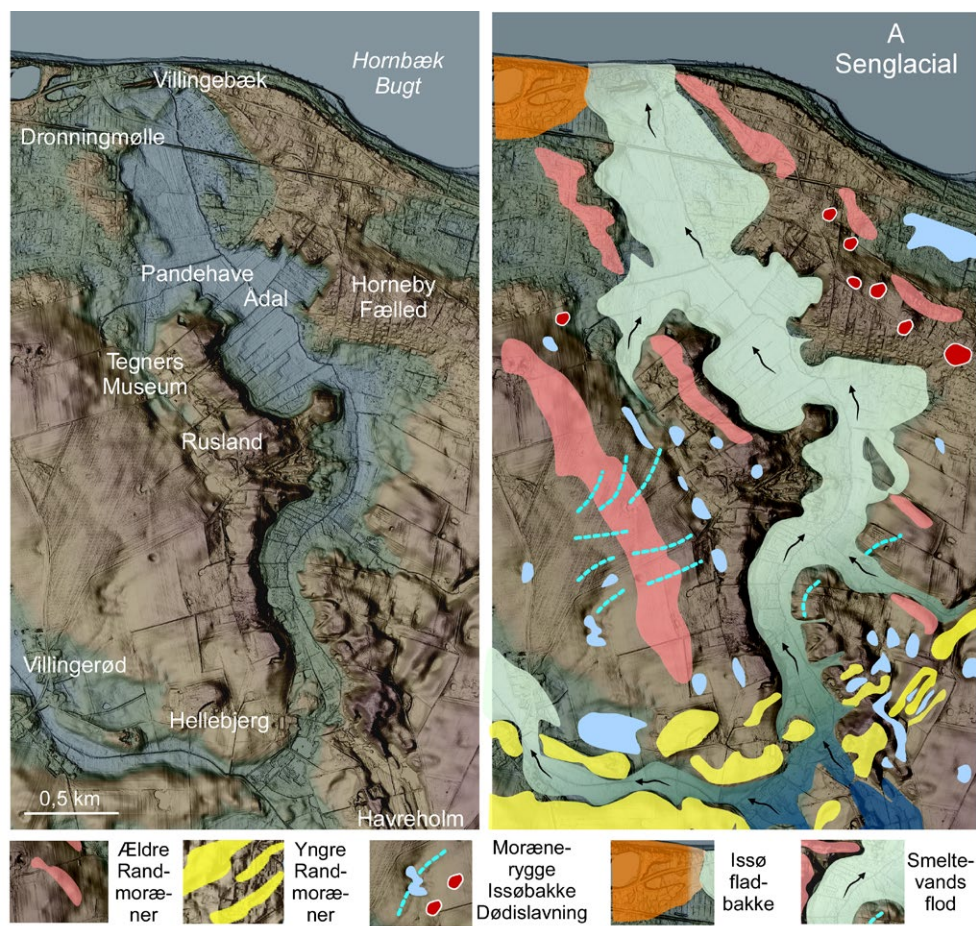


Fig. 85. Geologisk profil gennem Esum Ådal mellem Ferle og Villingerød Kirke. M: Nedre- og øvre moræneler, S: Smeltevands-sand, R: Rullestensgrus langs dalens sider afsat i smeltevandsfloder. L: Littorinahavets (Stenalderhavets) skalførende sand og mudder. T: Fastlandstidens og den nuværende dalbunds tørvedannelser. Efter Rørdam (1892).





**Fig. 86A.** Terrænmodel over Pandehave Ådal og det omgivende land. A: Rekonstruktion af smeltevandslodernes løb gennem istidslandskabet fra randmorænerne ved Hellebjerg til Villingebæk i Senglacial tid.

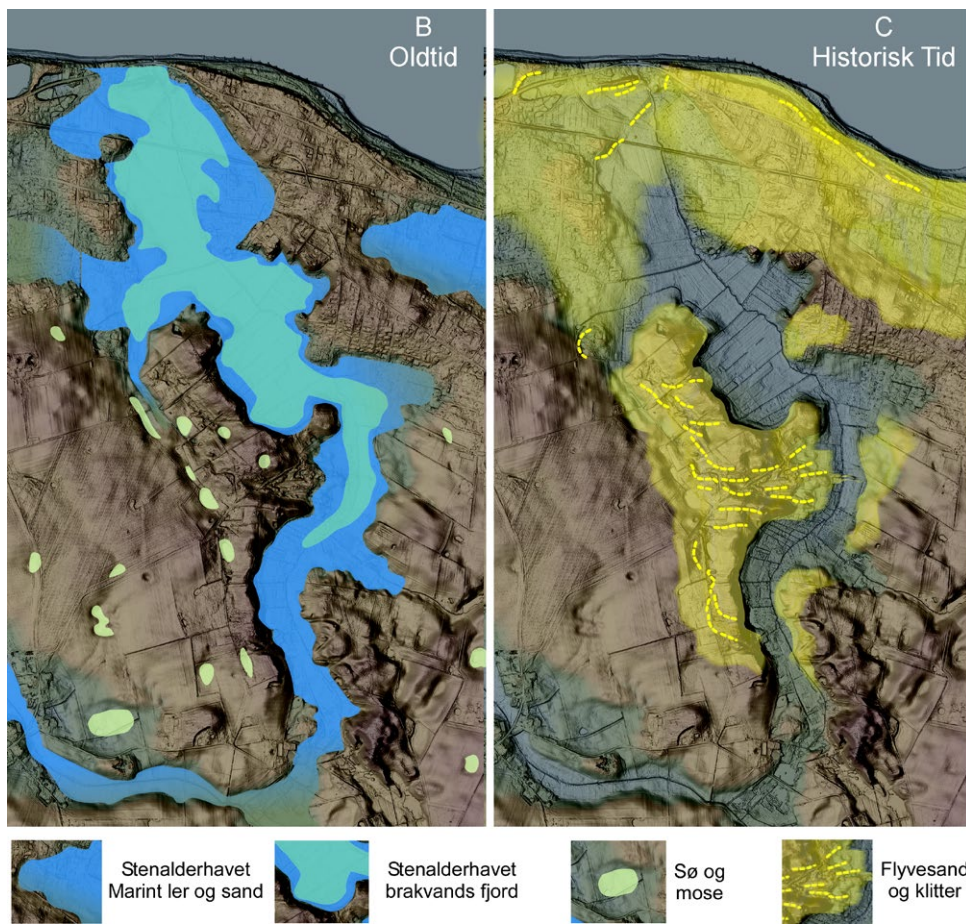
sin højeste vandstand ind i dalen så langt sydpå som til tærsklen ved Hellebjerg, hvor fjorden mødtes med den inderste brakvandede del af et tilsvarende farvand i Esrum Ådal ved Villingerød. Fjordens munding må samtidig have befundet sig et ukendt stykke vej ud i det nuværende Kattegat. Nær vore dages udløb ved Villingebæk viser borer og åbne profiler langs kysten, at bunden her i fjorden har ligget 10 meter eller mere under dagens havniveau, og at dynd og mudder afsat på dybere vand afløses af skalførende sand mod toppen af lagfølgen, hvor stormlag med store koncentrationer af skaller indgår i de øverste meter af lagfølgen, i lighed med forholdene ved Liseleje (Fig. 65). Dette skyldes, at dybden blev lavere og farvandet blev udsat for mere strøm, hvilket er et signal om faldende havspejl og større bølgevirksomhed.

Begyndende afsnøring ved fjordens udløb til Kattegat fandt sted i Bondestenalderen for omkring 5.000 år siden, og hjulpet af landhævning og faldende havniveau betød dette, at vandstanden faldt, og kun den dybeste del af dalen vedblev at have forbindelse med havet. Fjorden overgik til et stadium med brakvand, inden kystudligningen i Bronzealderen et par tusind år senere med udbygning af krumodder og

dannelse af strandvolde fik dæmnet helt op for dalens forbindelse med havet, og de nuværende sø- og mosestrækninger i dalbunden opstod.

Tredje episode i dalens historie fandt sted i Sen Middelalder og Nyere tid, hvor et sænket havniveau, overgræsning og kraftige storme med pålandsvind for alvor fik sandet i strandområderne til at blæse ind over land, hvor store arealer blev dækket af flyvesand (Fig. 86C). De voldsomme mængder sand var bragt til veje ved frilægning af sandede strandarealer og materialevandring langs kysten, men en væsentlig kilde var også de tykke, finkornede sandlag (Glumslöv Formationen afsat i Kattegat Issøen, Fig. 8), der ligger mellem to formationer af moræneler i istidslandskabet, og som i dag findes blottet i kystklinterne hele vejen fra Halsnæs til Helsingør. Stærk vind og storm blæste sandet fra kysten ind i land. Nogle steder feg sandet sammen i klitter eller lagde sig som en tæppe over landskabet, andre steder forblev morænelandet frilagt for flyvesand, men var samtidig underlagt kraftig afblæsning. Særlig udsat var strandnære områder syd for Dronningmølle og Horneby Fæled, men også områderne længere inde i land og ådalens vestlige bred omkring Rusland ved Tegners Museum, blev ramt af tilsanding.





**Fig. 86B.** Pandehave Ådal i Oldtiden under Stenalderhavets største vandstand og en senere mere begrænset brakvandsfjord. C: Sen Middealder og Nyere Tid med invasion af flyvesand og dannelse af klitter langs stranden og i morænelandet omkring ådalen.



**Fig. 87.** Udsigten over Pandehave Ådal fra Ruslands bakker ved Tegners Museum. I baggrunden Kattegat. Foto M. Lund Ujvåri 2023.



# Tak

Ole Humlum takkes for en særdeles positiv bedømmelse af manuskriptet. Også redaktør Ole Bennike skal nævnes for at have givet brugbare kommentarer til manuskriptet og for hans indsats i forbindelse med publicering.

Til slut skal Nationalpark Kongernes Nordsjælland have tak for økonomisk støtte til udgivelse af denne artikel.

## Referencer

- Aaris-Sørensen, K. 2016: Danmarks pattedyr fra istid til nutid, 266 s. København: Statens Naturhistoriske Museum.
- Andersen, S.A. 1931: Om Aase og Terrasser inden for Susaa's Vandområde og deres Vidnesbyrd om Isafsmeltningens Forløb. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række, nr. 54, 203 s.
- Andersen, S.A. 1933: Del danske Landskabs Historie. Danmarks Geologi i almenfattelig Fremstilling, 275 s. København: Levin & Munksgaard.
- Andersen, S.A. 1950: Rågeleje Egnens Geologi. Meddelelser fra Dansk geologisk Forening 11, 543–557.
- Andersen, S.A. 1964: Grusgravene i bakkerne ved Kalundborg. Meddelelser fra Dansk geologisk Forening 15, 359–367.
- Bennett, M.R. & Glasser, N.F. 2009: Glacial geology – ice sheets and landforms, 385 s. Oxford: Wiley-Blackwell Publishers.
- 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, 25–35.
- Berthelsen, A. 1974: Nogle forekomster af intrusivt moræneler i NØ-Sjælland. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1973, 118–131.
- Berthelsen, A., Konradi, P., Petersen, K.S., Rasmussen, L.Aa. & Sjørring, S. 1976: Guide til Nordqua Ekskursion 1976, 31 s. Geologisk Institut, Københavns Universitet.
- Binderup, M. 2017: Klitlandskabet. Naturen i Danmark – Geologien. 3.udgave, s. 429–438. København: Gyldendal.
- Binderup, M. 2021. Klitter og flyvesand. Sandflugtens historie i Nordsjælland. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2021/75, 43 s. <https://nationalparkkongernesnordsjaelland.dk/bibliotek/rapporter/>
- Björck, S. 1995: A review of the history of the Baltic Sea 13.0–8 ka BP. Quaternary International 27, 19–40.
- Björck, S., Walker M. J. C., Cwynar, L. C., Johnsen, S., Knudsen, K.-L., Lowe, J. J., Wohlfarth, B. and Intimate Members 1998: An event stratigraphy for the Last Termination in the North Atlantic region based on the Greenland Ice-core record: a proposal by the Intimate group. Journal of Quaternary Science 13, 283–292.
- Boldreel, L.O. & Pedersen, S.A.S. 2024: Neotectonic deformations of the lakebeds in Esrum Sø, eastern Denmark, interpreted to indicate a Postglacial pull-apart basin. Bulletin of the Geological Society of Denmark 73, 67–88. <https://doi.org/10.37570/bgsd-2024-73-04>
- Boulton, G.S. 1972: Modern arctic glaciers as models for former ice sheets. Journal of the Geological Society London 128, 361–393.
- Brandt, G. 1992: Fakta om en uægte ås. Geologisk Nyt 1992, 11–13.
- Christensen, C. 1982: Havniveauændringer 5500–2500 f.Kr. i Vedbækområdet, NØ-Sjælland. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1981, s. 91–107.
- Clemmensen, L.B. & Houmark-Nielsen, M. 1981: Et glaciolakkustrint Gilbert-delta ved Kyndby i NØ-Sjælland. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1980, 35–38.
- Clemmensen, L.B., Nielsen, L. & Konnerup-Madsen, J. 2012: Anholt. Geoviden 2012(1), 2–19.
- Clemmensen, L. B., Glad, A. C., Cossu, G., & Pascucci, V. 2024. Aeolian sand cover on a granite peninsula (Hammeren, Bornholm, Baltic Sea) formed in three episodes during the past 11,600 years. Aeolian Research, 70-71, [100944]. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2024.100944>
- Cohen, K.M. & Gibbard, P.L. 2012: Regional chronostratigraphical correlation table for the last 270,000 years. [http://www.nhm2.uio.no/norges/GTS2012\\_Quaternary-Poster-reg-GSA2012.pdf](http://www.nhm2.uio.no/norges/GTS2012_Quaternary-Poster-reg-GSA2012.pdf)
- Evans, D. 2009: Controlled moraines: origins, characteristics and palaeoglaciological implications. Quaternary Science Reviews 28, 183–208.
- Evans, D. & Evans, I. 2022: Glacial processes and landforms. I: Burt, T.P., Goudie, A.S. & Viles, H.A. (red.): The history of the study of landforms or the development of geomorphology, bind 5: Geomorphology in the second half of the twentieth century. Geological Society, London, Memoirs 58, 333–377.
- Evans, D. Young, N. & Ó Cofaigh, C. 2013: Glacial geomorphology of terrestrial-terminating fast flow lobes/ice stream margins in the southwest Laurentide Ice Sheet. Geomorphology 204, 86–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.031>
- Feddersen, H.H. 2003: En sedimentologisk undersøgelse omkring Kattegat Till Fm på fem nordsjællandske klinger, 65 s. Upubliceret cand. scient. afhandling. Geologisk Institut, Københavns Universitet.
- Frederiksen J.K. 1982: Græstedlerets foraminiferer i øst-danske moræneaflejringer. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1981, 65–71.
- Fronval, T. & Jensen, N.B. 1992: En stabilisotopisk undersøgelse af recente og flandriske sedimenter fra Arresø, 170 s. Upubliceret cand. scient. afhandling. Geologisk Institut, Københavns Universitet.
- GEUS 2024a: [https://Nationalboringsdatabase\(Jupiter,geus.dk\)](https://Nationalboringsdatabase(Jupiter,geus.dk)).
- GEUS 2024b. Kæmpesten i Danmark. [https://KæmpesteniDanmark\(geus.dk\)](https://KæmpesteniDanmark(geus.dk))
- Gravesen, P., Binderup, M., Houmark-Nielsen, M. & Krüger, J. 2017: Geologisk set – Sjælland og Øerne, 333 s. København: GO Forlag & Geocenter Danmark,
- Gregersen, J.L. 1986: En glacialgeologisk undersøgelse i området

- omkring Esrum Sø, 234 s. Upubliceret cand. scient afhandling. Geologisk Institut, Københavns Universitet.
- Gripp, K. 1964: *Erdgeschichte von Schleswig-Holstein*, 411 s, Neumünster: Karl Wachholtz Verlag.
- Hansen, K. 1968: En boring i Esrum Sø. Meddelelser fra Dansk geologisk Forening 18, 244–246.
- Hansen, K. 1981: Morfologisk-geologiske studier i Nordøstsjælland. *Geografisk Tidsskrift* 81, 1–10.
- Hansen, S. 1940: Varvighed i danske og skaanske senglaciale Aflejringer. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, II. Række, nr. 63, 267–311.
- Hartz, N. & Milthers, V. 1901: Det senglaciale Ler i Allerød Teglværksgrav. *Meddelelser fra dansk geologisk Forening* 2(8), 31–60.
- Henriksen, P.S. & Jessen, C. 2015: De naturvidenskabelige undersøgelser af kystaflejringer ved Kulturhavn Gilleleje. *Museum Nordsjælland, Årbog* 2015, 95 – 98.
- Holst, N.O. & Moberg, J.C. 1896: *Lommalerans Ålder*. Sveriges Geologiska Undersökning, Serie C, nr. 149, 12 s.
- Houmark-Nielsen, M. 1981: Glacialstratigrafi i Danmark øst for Hovedopholdslinien. *Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1980*, 61–76.
- Houmark-Nielsen, M. 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central parts of Denmark. *Bulletin of the geological Society of Denmark* 36(1–2), 189 s.
- Houmark-Nielsen, M. 1999: A lithostratigraphy of Weichselian glacial and interstadial deposits in Denmark. *Bulletin of the geological society of Denmark* 46, 39–52.
- Houmark-Nielsen, M. 2003: Signature and timing of the Kattegat Ice Stream: onset of the Last Glacial Maximum sequence at the southwestern margin of the Scandinavian Ice Sheet. *Boreas* 32, 227–241.
- Houmark-Nielsen, M. 2012: Hvad fortæller vore store vandreblokke om alderen af det danske istidslandskab: Kosmogen eksponeringsdatering af kæmpesten. *Geologisk Tidsskrift* 2012, 1–13.
- Houmark-Nielsen, M., Knudsen, K.L. & Noe-Nygaard, N. 2017: Istider og mellemistider. *Naturen i Danmark – Geologien*, 3. udgave, s. 255–304. København: Gyldendal.
- Houmark-Nielsen, M. 2019: Geologi og landskaber i Nationalpark kongernes Nordsjælland, 29 s. [https://nationalparkkongernesnordsjaelland.dk/indsatser/Forskning og rapporter](https://nationalparkkongernesnordsjaelland.dk/indsatser/Forskning%20og%20rapporter)
- Houmark-Nielsen, M. 2019, 2021a, 2023 a, b, c: Geologi og landskaber i Nationalpark kongernes Nordsjælland. Zone A, B, C, D. *Nationalpark Kongernes Nordsjælland*. [https://nationalparkkongernesnordsjaelland.dk/indsatser/Forskning og rapporter](https://nationalparkkongernesnordsjaelland.dk/indsatser/Forskning%20og%20rapporter)
- Houmark-Nielsen, M. 2021b: Istiden i det danske landskab, 391 s. København: Lindhardt & Ringhof.
- Houmark-Nielsen, M., Knudsen, K.L. & Noe-Nygaard, N. 2017: Istider og mellemistider. *Naturen i Danmark – Geologien*, 3. udgave, s. 25–304. København: Gyldendal.
- Houmark-Nielsen, M. & Lagerlund, E. 1987: The Helsingør Diamicton. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 36, 237–247.
- Houmark-Nielsen, M. & Kjær K.H. 2003: Southwest Scandinavia 40–15 ka BP: Palaeogeography and environmental change. *Journal of Quaternary Science* 18, 769–786.
- Håkansson, E. & Pedersen, S.A.S. 1992: Kort over den danske undergrund. København: Varv.
- Ingólfsson, Ó., Benediktsson, Í.Ö., Schomacker, A., Kjær, K.H., Brynjólfsson, S., Jónsson, S.A., Korsgaard, N-J. & Johnson, M. 2016: Glacial geological studies of surge-type glaciers in Iceland – Research status and future challenges. *Earth Science Reviews* 152, 37–69.
- Iversen, J. 1967: Naturens udvikling siden sidste istid. I: Nørrevang, A. & Meyer, T. *Danmarks Natur*, bind 1, Landskabernes opståen, s. 345–445. København: Politikens Forlag.
- Jakobsen, P.R. 2022: Geomorfologisk kort over Danmark, 1:200 000, version 3. <https://doi.org/10.22008/FK2/0U6ERA>
- Jarum, E.A. 2014: Sandflugtens opståen og hærgen i Nordsjælland. *Holbo Historier*, s. 47–79. Historiske beretninger fra Gribskov kommune, Holbo Herred.
- Jensen, V. 1977: Store Karlsminde Klint, materialer og strukturer. *Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1976*, 47–55.
- Jessen, K. 1920: Moseundersøgelser i det nordøstlige Sjælland. *Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række*, nr. 34, 268 s.
- Kjær, K.H. & Krüger, J. 2001: The final phase of dead-ice moraine development: processes and sediment architecture, Kötlujökul, Iceland. *Sedimentary Geology* 48, 935–952.
- Konradi, P.B. 1992: Marine kvartære aflejringer i Esrumdalen. *Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1990–1991*, 111–115.
- Krüger, J. 1989: Gletscheren og landskabet i nutid og istid, 75 s. København: Gyldendal.
- Krüger, J. 1994: Glacial processes, sediments, landforms and stratigraphy in the terminus region of Mýrdalsjökull, Iceland. *Folia Geographica Danica* 21, 23 s.
- Krüger, J. 2017: Nutidens landskab. *Naturen i Danmark – Geologien*, 3. udgave, s. 363–396. København: Gyldendal.
- Lagerlund, E. & Houmark-Nielsen, M. 1993: Timing and pattern of the last deglaciation in the Kattegat region, southwest Scandinavia. *Boreas* 22, 337–347.
- Lundqvist, J. & Wohlfarth, B. 2001: Timing and east-west correlation of south Swedish ice marginal lines during the Late Weichselian. *Quaternary Science Reviews* 20, 1127–1148.
- Madsen, V. 1896: Foraminifererne i Lommaleret. *Sveriges Geologiska Undersökning, Serie C*, nr. 149, 19 s.
- Madsen, V. 1942: Strandvoldene ved Hornbæk og Alderen af dem. *Meddelelser fra Dansk geologisk Forening* 10, 83–100.
- Mertz, E.L. 1924: Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. *Danmarks Geologiske Undersøgelse II række*, nr. 41, 68 s.
- Milthers, K. 1942: Ledeblokke og landskabsformer i Danmark. *Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række*, nr. 69, 137 s.
- Milthers, V. 1935: Nordøstsjællands Geologi. *Danmarks Geologiske Undersøgelse V. Række*, nr. 3, 192 s.
- Milthers, V. 1948: Det danske Istidslandskabs Terrænformer og deres Opstaaen. *Danmarks Geologiske Undersøgelse III. Række*, nr. 28, 234 s.
- Nationalparkplan 2020–2026 for Nationalpark Kongernes Nord-



- sjælland 2020: <https://nationalparkkongernesnordsjaelland.dk/om-os/plan-og-strategi>
- Nielsen, J.B. 1987: Kvartærstratigrafiske observationer langs østsiden af Roskilde Fjord. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1986, 41–47.
- Noe-Nygaard, N., Knudsen, K.L. & Houmark-Nielsen, M. 2017: Fra istid til og med Jægerstenalder. Naturen i Danmark – Geologien, 3. udgave, s. 305–334. København: Gyldendal.
- Petersen, K.S. & Konradi, P.B. 1974: Lithologisk og palæontologisk beskrivelse af profiler i Kvartæret på Sjælland. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1973, 47–56.
- Region Hovedstaden 2015: Råstofplan 2016-2020, s. 200-202.
- Regnéll, C., Alexanderson, H., Greenwood, S.L., Gyllencreutz, R. & Öhring, C. 2023: The Lund Moraine – the geomorphic limit of the last Young Baltic ice advance in the Öresund region. GFF, <https://doi.org/10.1080/11035897.2023.2281676>
- Rasmussen, L.Aa. 1974: Om morænestratigrafi i det nordlige Øresundsområde. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1973, 132–139.
- Richardt, N. 1992: Isafsmeltning, bassindannelse og transgression, 196 s. Upubliceret cand. scient. afhandling. Geologisk Institut, Københavns Universitet.
- Richardt, N., Belhage, L. & Funder, S. 1999: Øresund i 20.000 år. Varv 1999(3), 66–94.
- Rørdam, K. 1899: Kortbladene Helsingør og Hillerød. Danmarks Geologiske Undersøgelse I. Række, nr. 1, 110 s.
- Rørdam, K. 1892: Saltvandsalluviet i det nordøstlige Sjælland. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række, nr. 2, 151 s.
- Sandgren, P., Snowball, I., Hammarlund, D. & Risberg, J. 1999: Stratigraphic evidence for a high marine shoreline during the Late Weichselian deglaciation on the Kullen Peninsula, southern Sweden. Journal of Quaternary Science 14, 223–237.
- Schuldt, J. 1981: Om Esrumdalens geologi. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1980, 77–81.
- Sjørring, S. 1973: Some problems in the till stratigraphy of the northeastern part of Sjælland. Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, New Series 5, 31–35.
- Sjørring, S. 1974: Klinterne ved Hundested. Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1973, 108–117.
- Smed, P. 1981: Landskabskort over Danmark, Blad 4, Sjælland, Lolland, Falster, Bornholm. Brenderup: Geografforlaget.
- Smed, P. 2014: Weichsel istiden på Sjælland. Geologisk Tidsskrift 2013, 1–42.
- Smed, P. 2024. Sten i det danske landskab, 269 s. Davinde Stenmuseum.
- 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, 1437–1457.
- Thorson, G. 1968: Havbundens dyreliv. I: Nørrevang, A. & Mayer, T. (red.): Danmarks Natur, bind 3, Havet, s. 82–165. København: Politikens Forlag.
- Van der Meer, J. 2004: Spitsbergen push moraines. Gengivelse på engelsk af: Gripp, K. 1927: Ergebnisse der Hanburgischen Spitzbergen-Expedition 1927. Forschungen und Fortschritte 3. I: Rose, J. (red.): Developments in Quaternary Science 5, 212 s.
- Winsløw, L.B., Pedersen, S., Boldreel, L.O. & Nørmark, E. 2020: Wrench-fault structures superimposed by glaciotectionic complexes, interpreted from high-resolution reflection-seismic sections and boreholes along the western bank of Esrum Sø, north-east Sjælland, Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark 68, 171–193. <https://doi.org/10.37570/bgds-2020-68-08>.