

Geologi og landskaber i Nationalpark Kongernes Nordsjælland

Zone A: Halsnæs-Arresø-Tisvilde



Forfatter: Michael Houmark-Nielsen

**Geologi og landskaber i Nationalpark Kongernes Nordsjælland. Zone
A: Halsnæs-Arresø-Tisvilde**

Forfatter: Michael Houmark-Nielsen

Udgivelsesår: 2021

ISBN: 978-87-971736-6-4

Forsidefoto: Kystklitter ved Melby Overdrev. Foto: Hans Carl Nielsen

Rapporten er publiceret på www.nationalparkkongernesnordsjaelland.dk

Udarbejdet for Nationalpark Kongernes Nordsjælland

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse.

Bedes citeret: Houmark-Nielsen, M. 2021: Geologi og landskaber i
Nationalpark Kongernes Nordsjælland. Zone A: Halsnæs-Arresø-
Tisvilde.

Indhold

Indledning og opbygning	4
Zone A: Halsnæs – Arresø – Tisvilde	5
Landskabstræk i området	6
Område 1: Arrenæs – Arresø – Arrenakke	8
Et boreprofil gennem Arrenæs	9
Geologisk jordartskort	11
Nedslag: En tidligere grusgrav	12
Nutidens landskaber	13
Område 2: Kyststrækningen mellem Lynæs og Hanehoved	15
Nedslag: Store Karlsminde Klint	15
Nutidens landskaber	17
Stenalderhavet	17
Flyvesandet	19
Område 3: Melby Overdrev – Tisvilde Hegn – Arresø	20
Nutidens landskaber	20
Stenalderhavet – Littorinahavet	22
Arrefjorden lukkes	23
Landhævning og sandflugt	24
Nedslag: Klinten ved Liseleje	26
Melby Overdrev	27
En boring i Arresø	29
Litteratur	31

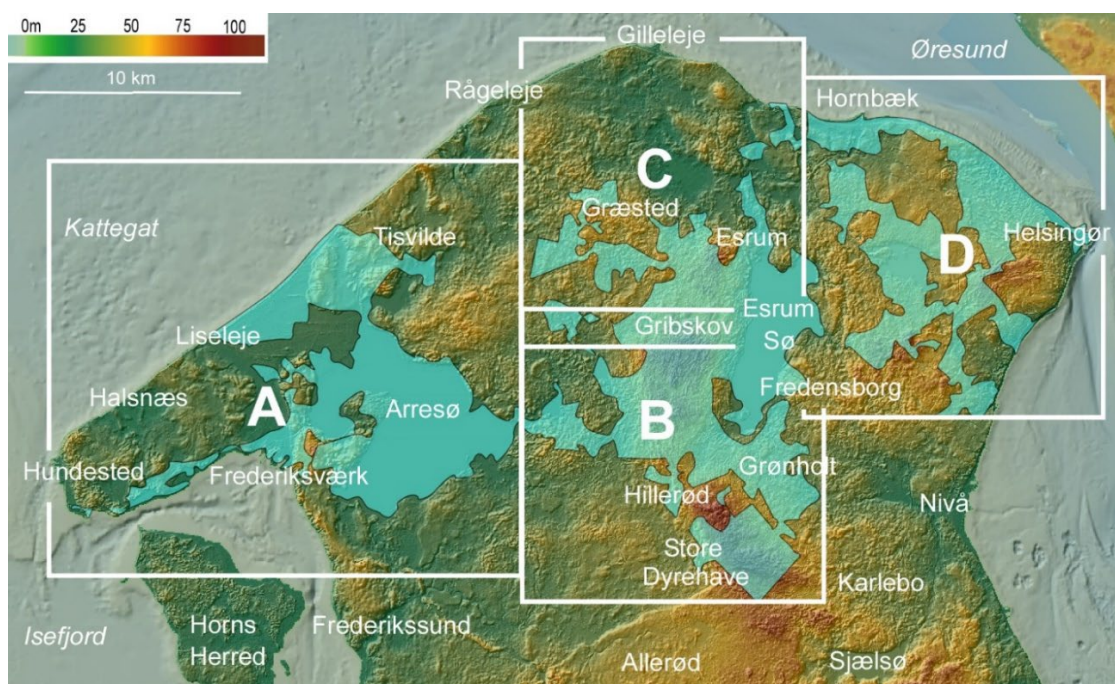
Indledning og opbygning

Viden og formidling af naturskabte herligheder som geologi og landskaber i nationalparken ligger som et fundament for nationalparkens øvrige emneområder og værdier og spiller i høj grad sammen med disse.

Rent geografisk kan nationalparken opdeles i fire zoner – et i hvert verdenshjørne. Med udgangspunkt i det notat, der blev udgivet i Nationalparkens regi i 2019 ¹, og som behandler de overordnede geologiske og landskabsmæssige forhold i det meste af Nordøstsjælland, følger her detaljerede redegørelser for hvert område. Til grund for denne fremstilling er anvendt et omfattende volumen af faglitteratur – videnskabelig så vel som populær med skelen til, at emnet også er behandlet i kortfattede oversigter i andre sammenhænge ².

En beskrivelse af hver af Nationalparkens **fire zoner** A, B, C og D (Fig. 1) begynder i helikopterperspektiv, som byder på en overordnet beskrivelse af geologi og landskaber. Her behandles særlige temaer knyttet til området, f.eks. tydeligt og velbevarede dødislandskaber, klit- og sandflugtsområder, smeltevandsdale, randmoræner osv.

Områdebeskrivelsen opdeles i mere konkrete **områder**, hvor der gøres **nedslag**, der med detaljerede beskrivelser af lokaliteter går i dybden med særligt interessante forhold, lokale landskaber, kystklinter m.m. beliggende, og som viser, hvad man rent faktisk kan, eller har kunnet se og opleve lige her på stedet og, hvordan netop denne lokalitet bidrager til helhedsbilledet.



Figur 1: Kort over NØ-Sjælland med Nationalparkens udbredelse (grøn) og markering af de fire zoner.

¹ Houmark-Nielsen, M. 2019: [geologi-og-landskaber-i-nationalpark-kongernes-nordsjaelland.pdf](#)

² Trap Danmark 6. udgave, <https://trap.lex.dk>

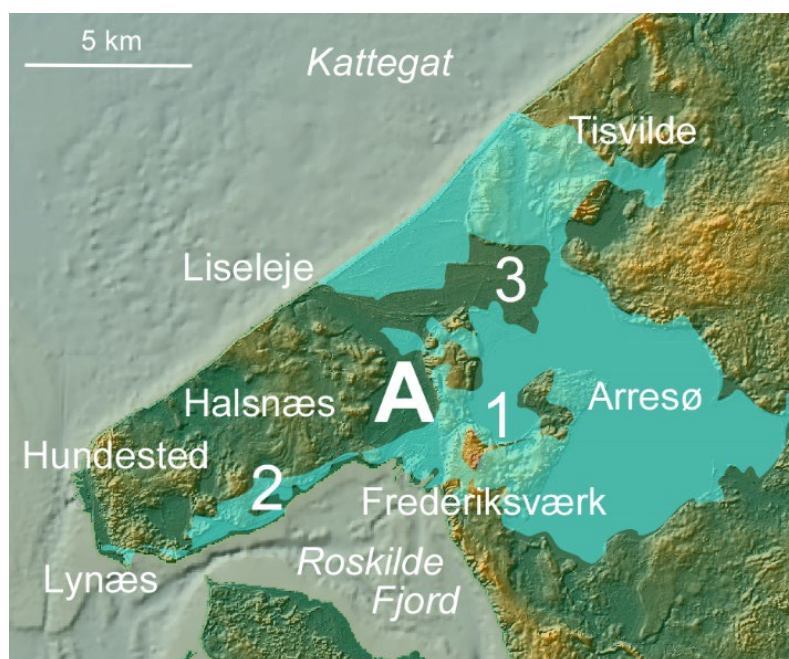
Zone A: Halsnæs – Arresø – Tisvilde

Denne zone kan deles i tre områder (Fig. A1):

1: Arrenæs og området omkring Frederiksværk byder på en gennemgang af den dybe geologiske opbygning efter en lagkagemodel, der opererer med en næsten uforstyrret lagfølge i bakkernes indre. Også dannelsen af det unge morænelandskab fra slutningen af den sidste istid vil blive taget under behandling.

2: Kysten mellem Lynæs og Frederiksværk hvor morænelandets indre opbygning visende en stærkt foldet og forskudt udgave af den regionale lagfølge tages under behandling gennem geologisk analyse en velbeskrevet kystklint øst for Lynæs. Postglacialtidens kysterosion og efterfølgende opbygning af det marine forland fra Stenalderen til i dag udgør en vigtig del af beskrivelsen af dette område.

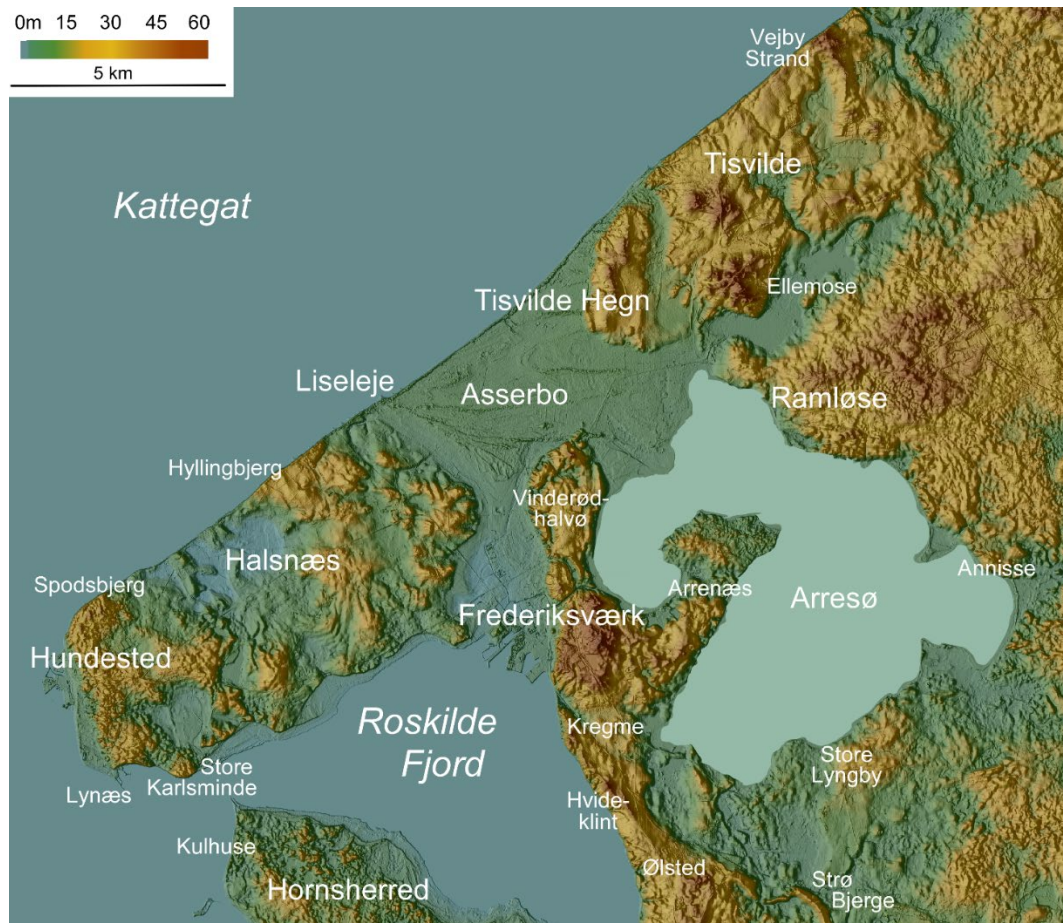
3: Melby Overdrev og Tisvilde Hegn danner rammen om historien om kystlandets forandring fra fremspringende næs og indskårne fjorde og vige i Stenalderen over Arresøens omdannelse fra fjord til sø i den sene Bronzealder frem til den moderne udligningskyst præget af stærk erosion, dannelse af krumodder og afsnøring fjorde og vige, en udvikling båret af klimaforandringer og landhævning. Det hævede kystlandskab krones af sandflugtsformationer i form af mægtige klitrækker og flydesandsdække, der i tiden fra Jernalderen til vore dage i tiltagende grad har voldt stor skade for samfundene langs kysten og i baglandet.



Figur A1: Zone A - Halsnæs-Arresø-Tisvilde. Områder – Områder: 1. Arrenæs, 2. Kysten mellem Lynæs og Frederiksværk, 3. Melby Overdrev – Tisvilde – Arresø. Nationalparkens areal vist med grøn farve.

Landskabstræk

Landskaberne i nationalparkens vestlige del fordeler sig groft set i to etager, nemlig 1: højtliggende og kuperet moræneland og 2: lavtliggende og flade tidligere kyst og fjordområder, der nu er skovbevokset eller henligger som moser og søer ¹ (Fig. A2). Til lavlandet hører også Arresø og nuværende havdækkede områder.



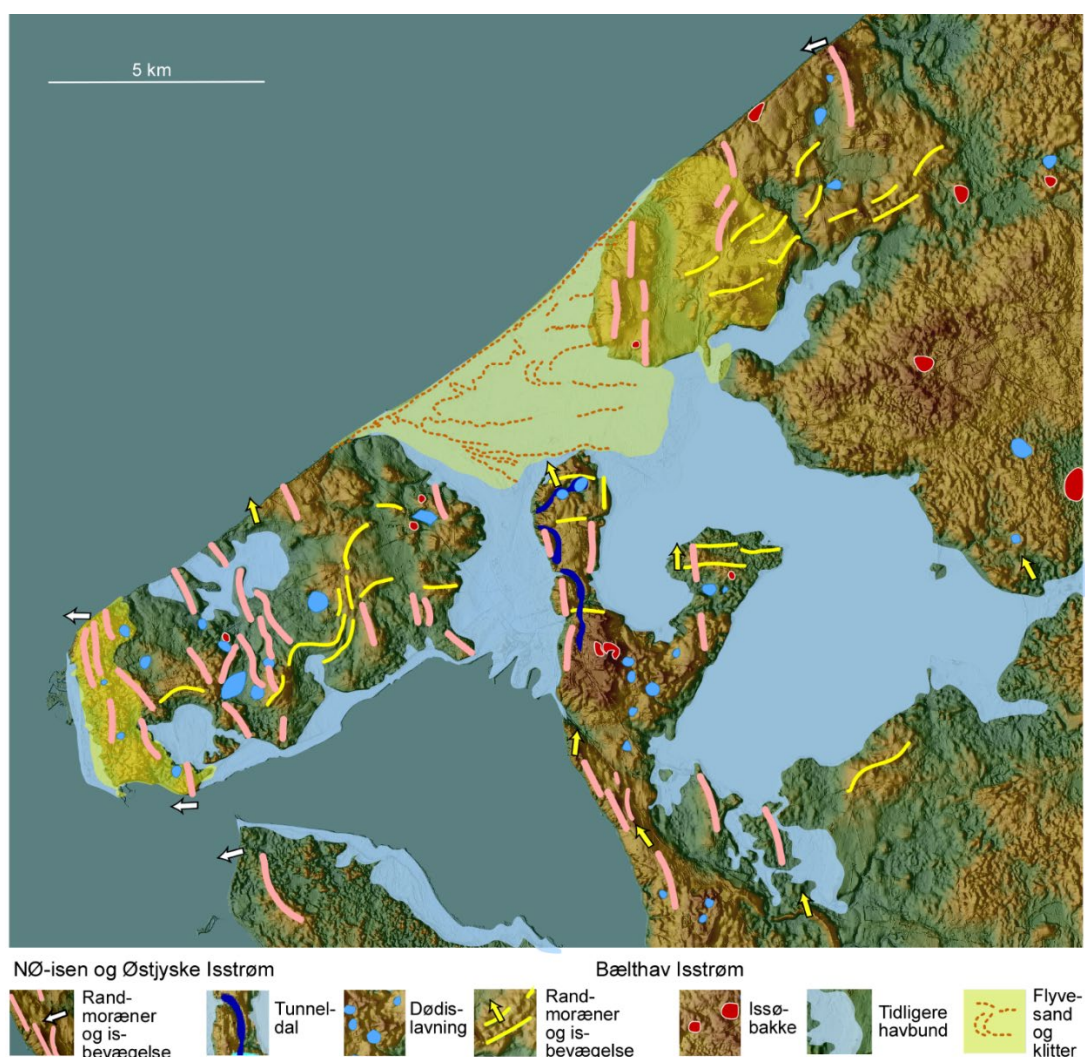
Figur A2: Kort med udvalgte områder i zonen

Morænelandet

Morænelandets indre består af moræneler og aflejringer bestående af grus, sand og mudder fra smeltevandssøer og floder afsat i forbindelse med Kattegat Isstrømmens afsmeltning for omtrent 27.000 år siden, og som er særligt tydelige i klinterne langs Kattegatkysten. Moræneleret herfra er særligt rigt på norske blokke fra Oslo-området og opblandede skalfragmenter fra Skærumhede havet, et ishav der fyldte Kattegat forud for de store nedisninger i Sen Weichsel ^{1, 2}. Herefter fulgte opfyldning af lavninger fra smeltevandssøer, der løb gennem et landskab præget af dødis og permafrost. Den afsmeltende Kattegat Isstrøm kunne være leverandør af smeltevandsmaterialerne i flodaflejringerne ³.

NØ-isens aflejringer er sparsomme i hele regionen, men de indgår sammen med Kattegat Isstrømmens aflejringer i opskudte og foldede randmorænerygge dannet af en ismasse, der invaderede området fra østlige retninger. Her er sandsynligvis tale om den Østjyske Isstrøm, der

synes at have udformet de ældste landskabstræk i regionen, og som findes under dække af yngre landskabsformer i klinerne ved Spodsbjerg ^{3,4} og Lynæs ⁵ (Fig. A3).



Figur A3: Landskabstræk i zone A: Mellem Kattegat, Roskilde Fjord og Arresø.

Under afsmeltningen, der foregik i østlig retning, gjorde isranden ophold flere steder, hvorved der opstod en række nord-syd gående israndsstrøg gennem Halsnæs og langs Kregme-Ølsted ryggen og gennem Vinderødhalvøen og Tisvildeegnen ⁶.

Istidslandskabet er dannet i flere omgange med nedisning og afsmeltning, således blev den østlige isstrøm afløst af Bælthav Isstrømmen, der fra sydlige retninger for omkring 17.000 år siden invaderede området, og som under sin afsmeltning mod syd udformede de bælter af randmoræner, der løber gennem Halsnæs, Vinderødhalvøen, det nordlige Arrenæs og Tisvildeegnen. Da den sidste isstrøm var under nedsmeltning, fremkom et landskab, hvor enkelte tunneldale og nogle få issøbakker er strøet ud over en bundmoræne ^{7,8}. På grund af dødis-smeltning i de dybereliggende lag, havde bundmorænen da mistet sin flade karakter til fordel for dødistopografi.

I Senglacialtid, mens de sidste rester af dødis var under afsmeltning umiddelbart før istidens afslutning for ca. 11.700 år siden, trængte et arktisk hav ind i det sydlige Kattegat og det nordlige

Øresund. Ishavets aflejringer er fundet på lavt vand ud for Halsnæs og i Øresund mellem Kullen og Gilleleje ⁹, men er ikke påvist med sikkerhed tættere under land. Men helt afvises kan ishavets indtrængning i NØ-Sjælland ikke, idet visse marine aflejringer med arktisk fauna og strandvolde, der ligger for højt i terrænet i forhold til Stenalderhavets kystlinje, er beskrevet fra området omkring Arresø.

Adskillige årtusinder efter istidens afslutning trængte Stenalderhavet (Littorinahavet) ind i morænelandets lavtliggende områder, hvilket medførte, at der for ca. 8000 år siden opstod et fliget kystlandskab med øer, odder, fjorde og vige ⁷. Havtemperaturen har sandsynligvis været højere end dagens og tidevandsforskellene større end nutidens, ligesom tilstedeværelsen af østers vidner om periodevis højere saltholdighed. Stenalderhavets kystklinter er hævet ca. 5 meter over nuværende havniveau.

Denne landhævning er fortsat gennem de seneste 5.000 år, et tidsrum præget af forandring mod køligere, mere fugtigt og stormfuldt klima ¹⁰. Herved bidrog de fremherskende nordvestenvinde til udligning af kysten og dannelsen af dens retlinede forløb ud mod Kattegat, som vi kender i dag. Erosionen langs kysten betød, at fremspringende næs og halvøer blev høvlet ned, mens materialevandringen langs kysten medførte inddæmning af bugter og vige.

Afsnøring af Arrefjordens munding mellem Liseleje og Tisvildeleje og dannelsen af de enorme strandvoldssletter omkring Asserbo og Tisvilde Hegn fik til følge, at Arresø ved overgangen til Jernalderen blev isoleret og omdannet til en ferskvandssø med udløb gennem Bydinge Å nord og vest om Vinderødhalvøen til Roskilde Fjord ¹. Samtidig tog sandflugten til i styrke for endelig at kulminere med dannelsen af store vandreklitter og dækker af flyvesand, der fæg ind over morænelandet i Tisvilde Hegn og det yderste af Halsnæs.

Område 1: Arrenæs – Arresø - Arrenakke

Området øst for Frederiksværk mellem Vinderødhalvøen, Kregme og Arrenæs danner et næsten Y-formet plateau, der rejser sig omtrent 40 meter over det omgivne fladland, der består af hævet og tilgroet havbund og nuværende vandområder som Roskilde Fjord og den meget lavvandede Arresø.

Det højtliggende plateau danner en moræneflade gennemsat af lavninger og dale, der kan opdeles i flere generationer. Et ældre sæt af dale og bakker strækker sig i nord-sydgående retninger, hvor flere af dalene i bunden har afrundede lavninger delt af tærskler og forhøjninger. Det yngre sæt af bakker og dale er kortere end de ældre og har en foretrukken orientering i øst-vestlig retning. På det gennemskårne plateau er klistret mindre og ofte afrundede cirkulære småbakker.

De hævdede strandflader er her i området næsten uden topografiske forskelle. Kun vest og nord for Vinderødhalvøen er en få meter lavere liggende lavning de sidste rester af Arresøens afløb mod Roskilde Fjord, inden den endelige tilsanding satte en prop i afløbet. Dæmning af afløbet markeres af en flere meter høj øst-vest løbende klitrække på strandfladen løbende op over den nordlige spids af Vinderødhalvøen ved Arrenakke og ud på fladen mod øst.



Figur A4: Kort over området omkring Arrenakke og Arrenæs

Af moderne landskabsregulerende fænomener kan nævnes de nu nedlagte grusgrave vest for Arrenakke og nordvest for Møllehøj, ligesom fladlandet nord for Torsbakke og kanalen mellem Frederiksværk og Arresødal er menneskeskabt.

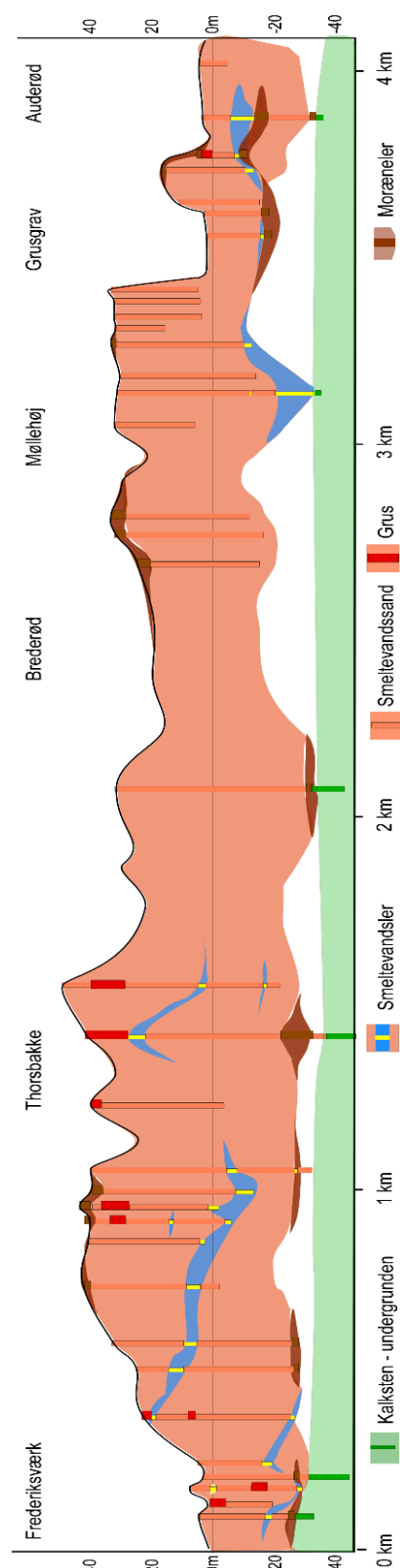
Et boreprofil gennem Arrenæs

Talrige grundvandsboringer, ligger spredt over hele området. De udgør et unikt datasæt, når det gælder om at forstå den indre arkitektur, i de tilfælde hvor åbne profiler er sparsomme eller helt mangler¹¹. Et boreprofil, der løber fra den sydlige del af Frederiksværk gennem Torsbakke til Møllehøj og videre over mod Avderød, er konstrueret langs et 300 m bredt bælte gennem terrænet (Fig. A5).

Profilen, der illustrerer de forskellige aflejrings todimensionale, geometri er konstrueret uden at tage hensyn til eventuelle uregelmæssigheder i lagdelingen, idet boredata og studier af åbne profiler ikke har afsløret forskydninger, folder eller istektonisk opstabling af lagene.

Opbygningen af området er forholdsvis simpel og illustreres af boreprofilen. Oven på den næsten plane kalkoverflade, der ligger ca. 30 meter under nuværende havniveau, findes en mægtig pakke af smeltevandssand og -grus klemmt inde mellem to horisonter bestående af delvist borteroderede forekomster af moræner. Den nedre horisont består af moræner fra tidlige nedisninger - uvist hvilke, men det har været foreslået, at der visse steder kunne være tale om Kattegat Isstrømmens aflejringer^{12, 13}. Herpå hviler en tyk dyne af sand med underordnede indslag af grus afsat af smeltevandsskud, der har haft deres kildeområde mod nord og vest. Et mellemgulv af smeltevandsler og -mudder blev afsat under forhold med ringe vandføring i større søer eller afsnørede flodarme.

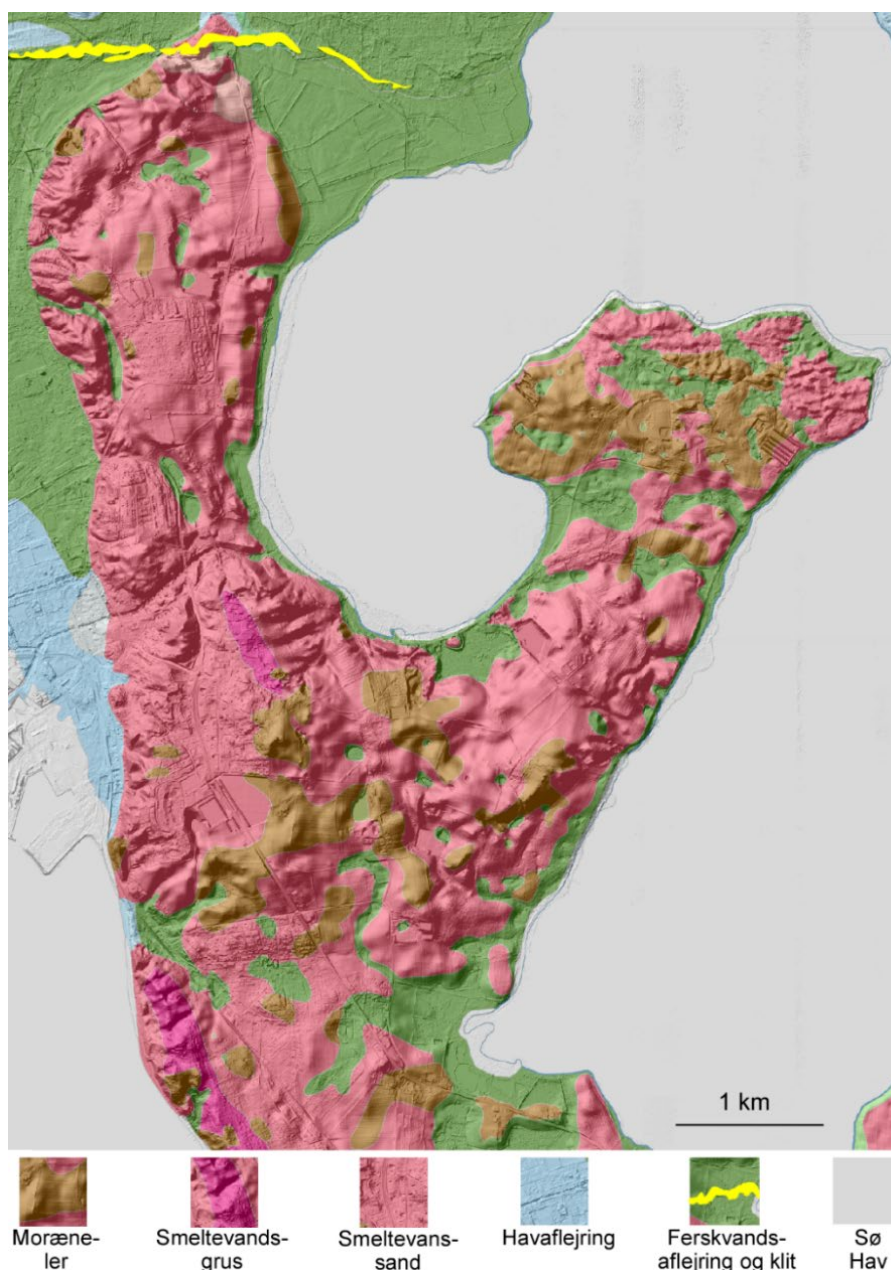
Området øst for Frederiksværk mellem Kregme, Arrenakke og Arrenæs danner et plateau med forholdsvis stejle sider. Denne opbygning af terrænet betyder, at der enten kan være tale om resterne af en langt mere udbredt flodslette, som gennem tidens løb er eroderet bort eller, at bakkerne med sand og grus rent faktisk afspejler selve afvandingsystemets formverden, opstået i floddale med inaktiv gletsjeris i bunden og langs bredderne, således at smeltevandet er flydt gennem et udbredt dække af dødis. Begge muligheder synes forenelig med områdets dødisprægede og plateaulignende landskabsformer. Den øverste del af profilsnittet viser, at det yngste isfremstød – Bælthav Isstrømmen, har forsynet hele området med et hullet og stedvis helt manglende tæppe af moræner.



Figur A5: Boreprofil fra vest mod øst gennem Arrenæs. Istidslagene over kalkoverfladen domineres af sandede smeltevandsaflejringer visse steder delt af lag bestående af smeltevandsler og moræner. Sandlagene hviler på en horisont af moræner og dækkes sine steder også af moræner. På grund af profilers store overhøjning – højden er omtrent 10 gange større end bredden – har lagene en betydelig større hældning end i virkeligheden.

Geologisk jordartskort

Aflejringerne i den øverste meter under jordoverfladen er vist i det geologiske jordartskort (Fig. A7). Den dominerende jordart er smeltevandssand med mindre forekomster af smeltevandsgrus. Størstedelen af dette sand og grus er efter alt at dømme en del af de øverste etager af den store sedimentpakke afsat af Kattegat Isstrømmens smeltevandsfloder. Forekomster af moræneler må tilskrives det yngste isdække – Bælthav Isstrømmen.



Figur A7: Geologisk jordartskort der viser, at Frederiksværkområdets bakkeland i overfladen er domineret af smeltevandssand vekslende med underordnede områder med smeltevandsgrus og moræneler. Stedvis er marine aflejringer bevaret, mens hovedparten af de tidligere havdækkede områder og lavninger i morænelandet udfyldes af postglaciale ferskvandsdannelser. Efter GEUS 2018 ¹⁶.

I morænelandets lavninger findes ferskvandsaflejringer dannet i søer og moser, som efterhånden forsumpede og groede til. Fladlandets hævede havaflejringer er de fleste steder også dækket af ferskvandsdannelser, der blev afsat efter områdets afsnøring fra havet og var ligeledes udsat for forsumpning. En flere kilometer lang og smal vandreklit bestående af flyvesand er påført figur A7, selvom flyvesand ikke synes at være til stede i den her brugte udgave af jordartskortet.

Nedslag: En tidligere grusgrav

De nu nedlagte grusgrave ved Arrenakke, Dronningholm og Møllehøj har været genstand for mere detaljerede geologiske undersøgelser, dengang råstofindvindingen stadig var i gang ^{12, 14}. Gravene har udnyttet den del af bakkernes store forekomster af sand og grus, der ligger over det lerede mellemgulv. Smeltevandsaflejringerne består af uforstyrrede og lagdelte i bundter af sand med underordnede lag af grus og sten (Fig. A6). Lagdelingen viser, at sedimenterne er afsat i floder, der generelt er løbet i sydøstlig retning. Sten indsamlet i graven ved Dronningholm viser, at langt den overvejende del stammer fra det sydlige Norge og Oslofjorden, sten fra Mellemsverige findes i moderate mængder, mens sten fra Østersøen udgør en ringe del ¹⁵.

Dette kunne støtte tanken om, at sandformationen har sin rod i Kattegat Isstrømmens afsmeltning, da denne isstrøms moræneaflejringer netop er karakteriseret ved at indeholde mange sten fra Sydnorge. I toppen af sandlagene er der fundet strukturer dannet af iskiler, der efter smeltevandsstrømmenes ophør og flodernes udtørring, er udgået fra frostsprækker i jordenoverfladen, og som er trængt ned i de underliggende lag under et klima præget af permafrost. Dette viser, at der sandsynligvis er et betydeligt tidsgab mellem aflejring af sandet og invasion af isstrømmen, der afsatte det oven liggende lag af moræneler.



Figur A6: Den øvre del af grusgrav ved Arrenakke med flodsedimenter fra Kattegat Isstrømmens afsmeltning dækket af Bælthav Isstrømmens moræneler. Foto M. Houmark-Nielsen 1987.

Istransporterede sten udvasket fra det øverste Moræneler i Hvideklint, Møllehøj og Arnakke (Fig. A6) har en sammensætning, der klart indikerer, at den aflejrende gletsjer har haft sit udspring i Østersøen – Bælthav Isstrømmen. Samtidig viser strukturer i moræneleret, at isstrømmen er flydt ind over denne del af NØ-Sjælland fra sydlige retninger.

I en tidligere grusgrav ved Øglehøj på Arrenæs har det kunnet vises, at der også findes moræneler fra NØ-isen og isstrømmen fra Øst i området og, at smeltevandssandet fra Kattegat Isstrømmen i sine øvre dele kan være stærkt foldet og forskudt af isfremstød fra østlige og nordøstlige retninger, altså forhold der peger på at NØ-isen og den Østjyske isstrøm også har haft en finger med i spillet, når det gælder dannelsen af morænelandet i denne del af NØ-Sjælland.

Nutidens landskab

Landskabskortet over Frederiksværkområdet viser, at en mosaik af landskabsformer indgår i det samlede billede (Fig. A8). I korte træk består landskabet af Bælthav Isstrømmens bundmoræne påklustret randmoræner fra tilbagesmeltningen. Mellem Auderød Skov og Øglehøj har bakkerne karakter af stenede rygge af morænegrus, afsat i umiddelbar tilknytning til afsmeltningen langs en isrand, mens de andre steder består af mindre iøjnefaldende rygge af moræneler.

I forbindelse med den endelige nedsmeltning afsattes sand og grus i småsøer på dødisen, hvorfor de tidligere søbunde i dag fremstår som issøbakker, der tit udgør de højeste punkter i landskabet som f.eks. Maglehøj. Bundmorænen er afsat mens isen flød mod nord, ligesom de små randmorænebakker markerer ophold i isstrømmens tilbagesmeltning. Men bundmorænen har ikke den typiske flade karakter, som er almindelig de fleste steder i landet. Langstrakte lavninger formodes at være spulet ud af underlaget ved hjælp af smeltevand, der løb ved basis af isen. Her er tale om tunneldale, hvis bundrelief er stærkt varierende på grund af, at dødisklumper har udfyldt dalene, eller at isolerede klumper af dødis har været begravet under dalbunden.

Sammen med talrige andre afløbsløse lavninger, der i dag udfyldes af søer og moser, får det meste af området karakter af et dødislandskab. Bundmorænen's bulede og hullede udseende skyldes efter alt at dømme passiv indsynkning på steder, hvor der i underlaget har været begravet klumper af dødis, efterladt af tidligere isstrømme, sandsynligvis Kattegat Isstrømmen.

En del større bakkerygge slynger sig fra NØ mod SV gennem landskabet. Disse rygge er rester af det oprindeligt mere flade moræneland, og deres bakkede udseende skyldes sandsynligvis, at omgivelserne er sunket ind som følge af dødisafsmeltning i dybet, hvilket også har givet ophav de mange afløbsløse dødislavninger, der i dag udfyldes af småsøer og moser. Imidlertid kan afsmeltningen af Bælthav Isstrømmen også have spillet ind i bakkernes udseende, idet de ligger i et strøg, som kunne være blevet formet som randdannelser langs kanten af den afsmeltende is, men der mangler vidnesbyrd fra åbne profiler for at kunne støtte denne antagelse.

Andre nærmest skjulte bakkerygge ligger i et nord-syd gående bånd gennem Frederiksværkområdet. Her er der tale om de nederoderede rester af randmorænebakker, opstået i forbindelse med tilbagesmeltningen af de tidligere isstrømme fra NØ eller Ø og som har kunnet studeres i grusgraven ved Øglehøj og i kystklinten ved Store Karlsminde øst for Lynæs.



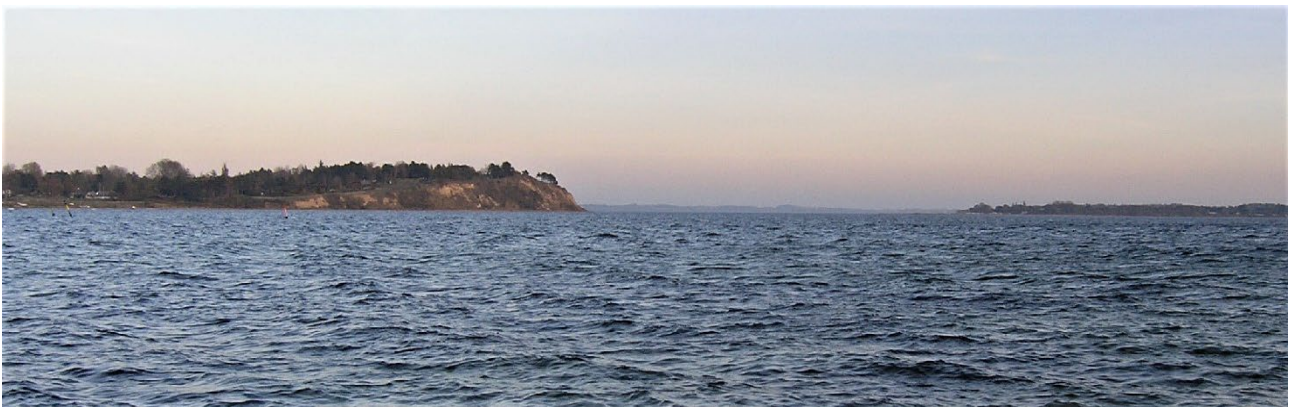
Figur A8: Landskabskort over Arrenakke-Arrenæs området.

Ved roden af den Y-formede halvø har et mindre smeltevandsløb med udmundning mod vest afsat sand og grus mellem bakkerne omkring Kregme, ligesom smeltevand og nedbør har dannet de talrige erosionskløfter, der for nogens vedkommende har rod langt inde i morænelandet, mens andre mere korte og stejle kløfter skærer sig ned i de markante skrænter langs Stenalderhavets tidligere kyst. Foran skrænterne ligger nu den hævede havbund, der for det meste er groet til i moser og enge.

Morænefladen synes altså i en tidlig fase at have haft den almindeligt kendte flade karakter, for senere at have ændret udseende. Under tilbagesmeltningen er de mindre randmoræner afsat oven på fladen for herefter at blive afløst af issøaflejringer, da Bælthavisen overgik til dødis. Fladen med dens dække af moræneler, randmoræner og issødannelser er rimeligvis sunket sammen mange steder på grund af dødisklumpers smeltning i de dybe sandlag, samtidig med at nedbrydning af den inaktive Bælthav is har medført dannelse af talrige erosionskløfter, der har ledt smeltevand ned i lavlandet.

Område 2: Kyststrækningen mellem Lynæs og Hanehoved

Hele områdets etagedelte formverden afspejles også i landskaberne på Halsnæs (Fig. A2). I kystområdet mellem Hundested og Frederiksværk overstiger morænelandet næppe mere end 30 meters højde med sine enkeltbakker og slyngede bånd af bakkedrag. Sø og mosefyldte lavninger når flere steder mindre end en håndfuld meter over nuværende havniveau, og adskillige af disse var sunde, fjorde og vige i Stenalderhavet, men hvor de tidligere indløb allerede i den sene del af Stenalderen blev afspærret fra havet af hævede strandvolde (Fig. A3). Specielt langs sydkysten af Halsnæs findes en bræmme af marint forland og strandenge mindre end få meter over daglig vande. Både Stenalderhavet og yngre perioders vandstand har været med til udformning af kystklinter, hvoraf nogle er afskåret fra havet i dag, mens andre stadig angribes af bølger og strøm i Roskilde Fjord (Fig. A9).



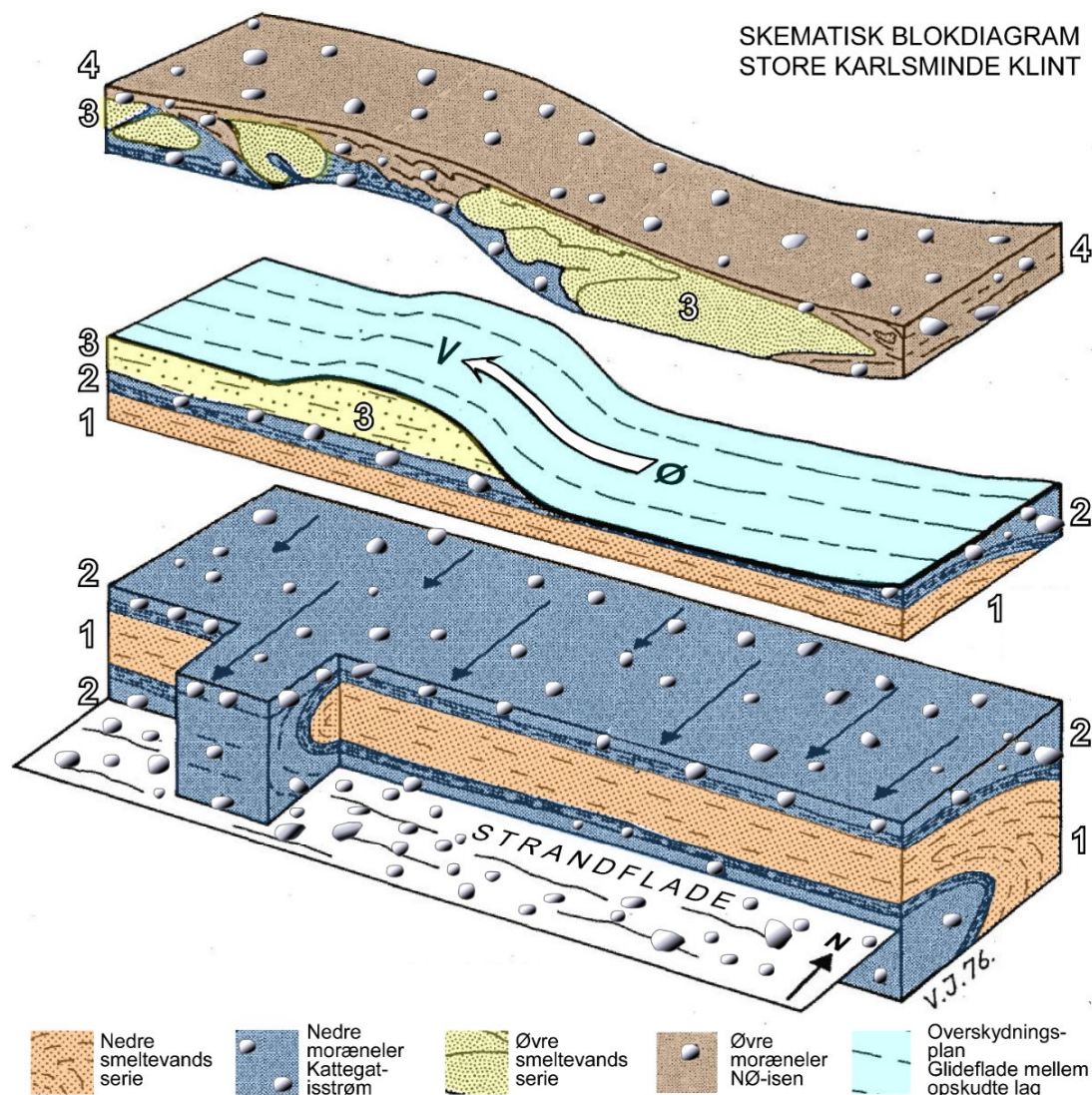
Figur A9: Indsejlingen til Roskilde Fjord med Store Karlsminde Klint til venstre set fra Lynæs Havn. Foto M. Houmark-Nielsen 2021.

Nedslag: Et blik ind i den dybere geologi – Store Karlsminde Klint

Hvad der befinder sig af spor efter ældre isdækker under det nuværende landskab, og hvilken historie de fortæller om Halsnæs' tidligere udvikling, afsløres med et kig ind i klinten ved Store Karlsminde Klint øst for Lynæs. Strandstenene, der ligger for foden af den ca. 30 meter høje kystklint, er udvasket af lagene i klinten og stammer fra flere områder i Skandinavien¹⁵. Optælling af stentyper her viser en nogenlunde ligelig fordeling af sten og blokke fra Osloområdet, Dalarna og farvandet omkring Ålandsøerne. 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, har tidligere været renvasket af bølger og strøm og har været genstand for geologiske studier ⁵. Klintens opbygning er kompliceret ved at have været foldet og overskudt af gletsjere to gange under den sidste istid. Et skematisk blokdiagram viser klintens geometri og lagmæssige opbygning (Fig. A10).



Figur A10: Skematisk blokdiagram, Store Karlsminde Klint. Numrene 1 - 4 henviser til aflejringer i klinten. Efter Jensen 1976 ⁵.

Ældst er finkornede flod og søsedimenter (aflejrings 1) der gradvist afløses af moræneler (aflejrings 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 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 fra omtrent nord mod syd. Det er sandsynligt, 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 (aflejring 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 ¹³.

Deltaaflejringerne overlejres af NØ-isens moræneler (aflejring 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 aflejring 1, 2 og 3, og selve overskydningsprocessen har medført intens foldning af lag 3 og 4. Den isoverskridelse, der medførte overskydning og tilhørende foldning, er yngre end NØ-isen og må efter alt at dømme tilhøre isstrømmen fra øst, som har sat sig spor i form af regionens ældre randmorænebakker (Fig. A3). Moræneler fra Bælthav Isstrømmen er ikke beskrevet fra selve klinten, men findes i overfladen i det omliggende landskab.

Store Karlsminde Klint følger sig således til rækken af markante klinter på Halsnæs, hvis aflejringer kan genfindes langs Kattegatkystens åbne klinter forbi Nakkehoved ved Gilleleje ¹ og videre ind i Øresund, som alle bidrager til den samlede geologiske historie fra Nordsjælland og det vestlige Skåne.

Nutidens landskaber

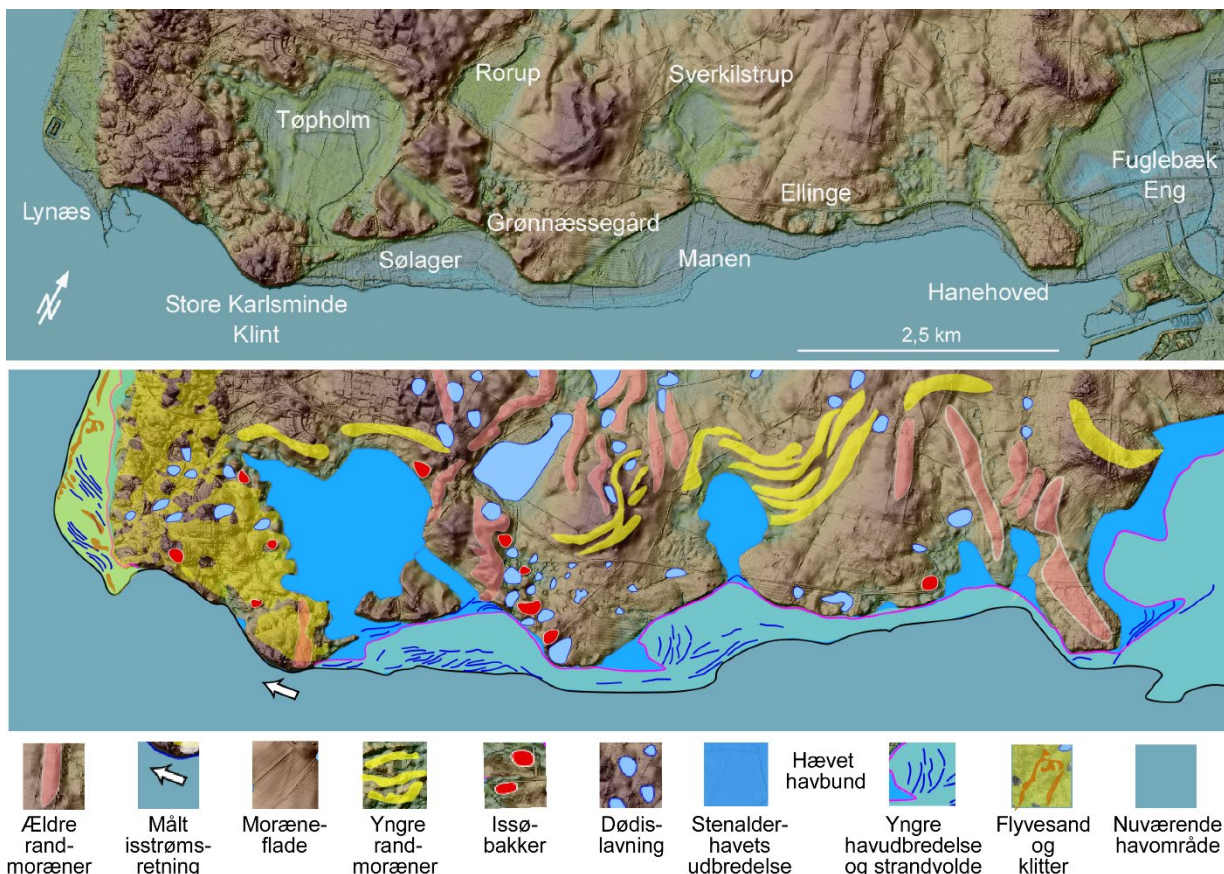
Morænelandet på Halsnæs danner baggrundstæppe for postglacialtidens havaflejringer og flyvesand (Fig. A11). Den ældre af to generationer af israndsbakker stammer sandsynligvis fra afsmeltningen af NØ-isen eller den Østjyske Isstrøm (ældre randmoræner). Disse bakker ligger i nord-sydlige retninger og stammer fra isoverskridelse fra øst, som det ses i Store Karlsminde Klint. De slyngede bånd af langstrakte bakkerygge krydser disse ældre bakker og afspejler stadier i Bælthav Isstrømmens afsmeltning (yngre randmoræner).

Mellem israndsbakkerne findes lavninger, hvoraf nogle er opstået der, hvor isen havde taget fat i jordlagene og skubbet dem sammen i randmorænebakkerne (Fig. A3). Andre lavninger kan have en længere historie og kunne have sin oprindelse i Kattegat Isstrømmens afsmeltning på samme måde som lavningerne på Arrenæs. Mindre afgrænsede huller opfyldt af søer ligger sammen med en antal issøbakker spredt i Bælthav Isstrømmens dødislandskaber, som hermed bidrager til den endelige udformning af istidslandslandskabet på Halsnæs. I de fleste tilfælde har Halsnæs' lavninger været fyldt med afsnøret og inaktiv gletsjeris som, da afsmeltningen var bragt til ende, lå tilbage som vandfyldte depressioner i landskabet, der efter sidste istid omdannedes til søer i Fastlandstidens landskab.

Stenalderhavet

En verdensomspændende havspejlstigning på mere end 100 meter, der tog sin begyndelse for mere end 14.000 år siden under sidste istids afslutning, nåede tæt på nutidens niveau for knap 8000 år siden. Stigningen var forårsaget af kollaps og smeltning af de sidste store iskapper grundet den kraftige postglaciale opvarmning og betød oversvømmelse af de lavest liggende dele af landskabet. Stenalderhavets og de yngre havområders aflejringer og kystformer i Nordsjælland er bevaret mange steder, hvor de på grund af landhævning kan være løftet helt op til ca. 4-5 meter over nuværende havniveau ¹. Vandstanden var højest i begyndelsen for derefter at aftage jævnt mod nutidens niveau, ind i mellem afløst af perioder med kortvarige og mere voldsomme fald.

Den højeste vandstand, der indtraf for ca. 7000 til 4000 år siden, var ikke præget af et konstant havspejl, men derimod af flere faser med stigning og fald i vandstanden med op til 1 meter ⁹. Disse variationer skyldes sandsynligvis ændringer i styrken af lokal landhævning og global havstigning. I Arresø er der sporet to af disse faser, mens der i Søborg Sø og ved Vedbæk findes 4 måske 5 faser med varierende vandspejl. I denne periode dækkede havet store dele af Halsnæs f.eks. var lavningerne ved Tøpholm og Terkilstrup og adskillige steder langs Halsnæs Kattegatkyst omdannet til mindre fjorde med smalle forbindelser til åbent hav, mens Fuglebæk Eng var en del af et større sund, der forbandt Roskilde Fjord med Arresø og Kattegat (Fig. A11).



Figur A11: Landskabsformerne langs Halsnæs' sydlige kystområde. Morænelandet opbygges af to generationer af randmoræner, moræneflade og dødislandskaber med issøbakker og dødislavninger. De lavere dele er dækket af hævet havbund fra Stenalderhavet (op til ca. 5 meter over nuværende havniveau). En yngre havudbredelse (fra ca. 2,5 meters højde) med dannelse af klinter og udbygning af kysten tog sandsynligvis sin begyndelse ved overgangen mellem Yngre Stenalder og Bronzealder og har stået på indtil vor tid.

De landskabsmæssige spor efter det høje havniveau giver sig ikke særligt til kende i det indre af de små og lavvandede fjorde, men hvor bølger og strøm kunne angribe odder og næs, begyndte dannelse af kystklinter ved Lynæs, Sølager, Grønnesse, Ellinge og Hanehoved allerede tidligt i Stenalderhavets levetid. Dette medførte transport af sand og grus langs kysten, hvorved der blev dannet odder og strandvolde i læ af kystens fremspring, mens smalle indløb til de beskyttede vige efterhånden sandede til. Herved afsnøredes lavningerne fra det åbne hav, hvorefter de blev til ferskvandssøer og sluttelig forsumpede.

Hvornår isolering af Stenalderhavets fjorde og vige fandt sted, er der ingen sikker viden om, men indløbet til disse bassiner kunne være blevet spærret af strandvolde nogenlunde samtidig med tilsvarende begivenheder i det tidligere Brødemose Sund nord for Fuglebæk Eng og Arresø^{6, 17, 18}. Her antyder fund af skaldynger på hævede strandaflejringer og aldersbestemmelse af den første brakvandsfase i Arresø, at dette kunne være sket i slutningen af ældre stenalder.

Nyere undersøgelser på Anholt af strandvoldenes alder og deres højde over havet på øen giver et billede af, hvordan havniveau og klima udviklede sig gennem de seneste ca. 7.500 år¹⁹. I perioden fra 4.400 år til 3.500 år siden blev Stenalderhavets høje vandstand brat afløst af et anseeligt havniveaufald på ca. 3,5 m, der slog fuldt igennem ved Bronzealderens begyndelse. Fratrullet landhævningen anslås det, at verdenshavens niveau faldt ca. 2 m over denne forholdsvis korte periode, sandsynligvis på grund af genopbygning af de første større iskapper i postglaciertid.

Neden for de tærskler, der afspærrer tidligere Stenalderfjordes udløb, findes på Halsnæs en markant kystlinje ca. 2,5 m over havniveau, som kan følges langs det meste af sydkysten (Fig. A11). Ved sammenligning med forholdene på Anholt, er der også her indikation for et havniveaufald af samme størrelse og alder, efterfulgt af en periode med et mere stabilt havspejl. Erosion i kystklinter, kystudligning og udbygning af langstrakte odder med bagvedliggende laguner fortsatte gennem Bronzealderen og begyndelsen af Jernalderen.

Kombineret med vedholdende landhævning betød dette, at kysten til stadighed blev lagt til med sand og grus, der via de fremherskende vestenvinde førtes med strøm og bølger fra Isefjordens munding rundt om Lynæs og Karlsminde Klint langs Halsnæs sydkyst og ind i bugten ved Frederiksværk. Bag strandvoldene afsattes mudder og sand og efterhånden erosionen mindskedes opstod den tilgroningskyst, som i dag kendetegner området omkring Sølager, Manen og Fuglebæk Eng (Fig. A11).



Figur A12: Hævet tilgroningskyst ved Grønnessegård med Stenalderhavets kystklint i baggrunden set mod øst. Foto M. Houmark-Nielsen 2021.

Flyvesandet

Da havet ikke længere var stigende, blev landhævningen den drivende kraft i den lokale landskabsudvikling i Nordsjælland. I Jernalderen var udbygning af krumodder og strandvolde langs Kattegatkysten og de indre fjorde efterhånden aftaget, da kystområderne havde opnået et mere modent stadie i forhold til de kræfter der udligner kysten, nemlig bølger og strøm. De nyanlagte strandvoldssletter blev med landhævningen eksponeret for vind og vejr, og særligt efter

Bronzealderens havniveaufald voksede arealet med hævede kystaflejringer. Disse blev i stigende grad leverandør af flyvesand, der af vestenvinden blev ført ind over land.

På Halsnæs blev den særligt udsatte kyststrækning mellem Hundested og Lynæs i Jernalderen og nyere tid udsat for kraftige storme, der blæste et dække af flyvesand og klitter ind i bakkelandet, hvor vandringen af sand ind over morænelandet nåede helt til lavningen ved Tøpholm og bagsiden af Karlsminde klinten helt til Sølager (Figur A11). Endnu mere voldsomt gik det til i området omkring Melby Overdrev og Tisvilde Hegn.

Område 3: Melby Overdrev – Tisvilde Hegn - Arresø

Landskabet mellem Kattegat og Arresø omfatter to klart adskilte terræner nemlig en lukket fjordmunding og et bakket morænelandskab (Fig. A13). De tidligere sunde, som forbandt Arresø med Kattegat og Roskilde Fjord, udgør i dag en lavtliggende, ganske jævne og tilgroede sandet flader, der næppe når mere end 5 meter og sjældent 10 meter over havet. På begge sider af Arrefjordens tidligere munding findes et stærkt kuperet istidslandskab, der flere steder når højder på halvtreds meter over havet, og som over lange stræk har bevaret stejle kystklinter fra Stenalderhavets tid. Langs kysten mod Kattegat findes et næsten sammenhængende bælte af kystklitter med højder på op mod 10 meter. Disse er blot de yngste i en perlerække af klitter længere inde i land, hvor overfladen over store områder er præget af flyvesand.

Temaet for denne naturindgang er historien om Stenalderhavets indtrængen, afsnøring af fjorde og sunde samt tilsanding af store dele af området som følge af kystudligning, landhævning og klimaforandring gennem de seneste 7000 år. En nærmere redegørelse for disse fænomener illustreres gennem to nedslag, nemlig kystklinterne ved Liseleje og baglandet med Melby Overdrev samt boringer i Arresøens bund.

Nutidens landskab

Istidslandskabets terrænformer afslører to sæt langstrakte bakker (Fig. A3). Det ældste løber omtrent nord-syd, og de er efter alt at dømme skubbet op af den vigende NØ-is eller foran den Østjyske Isstrøm, der invaderede området fra øst. Et yngre sæt bakker, der regnes for afsat af Bælthav Isstrømmen, og som løber i øst-vestlig retning fra Lerbjerg og forbi Tibirke, er smallere og stejlere end de andre, og de synes at "ride" oven på de nord-syd gående israndsbakker. Øst for Ellemosen, hvorfra materialet til Bælthav Isstrømmens randbakker kunne være hentet, er landskabet omkring Ramløse præget af afrundede småbakker og lavninger uden foretrukken retning, hvilket kendetegner dødislandskaber, som de også fremtræder på Arrenæs og Halsnæs.

I Senglaciertiden, da klimaet blev varmere og dødisen var ved at smelte ned, bredte det arktiske *Yoldia* hav sig ned gennem Kattegat og nåede Sjællands kyster ¹. Ishavsleret er fundet i havbunden ud for Hundested, Liseleje, Gilleleje og Hornbæk. Sporene på land er sparsomme, men i en boring ved Stængehus er ishavets sandbund gennemboret ca. 8 – 13 meter under nuværende havniveau, men imidlertid synes der i boringen at optræde aflejringer fra Stenalderhavet længere nede i boringer, hvilket rokker ved troværdigheden af boredata herfra.



Figur A13: Terrænmodel over landskabet mellem Kattegat og Arresø.

Højt liggende terrasser dannet af bølger er truffet i knap 10 meters højde langs den gamle kystklint mellem Lerbjerg og Tisvildeleje ²⁰, og strandgrus findes i samme højde i dalbunden øst for Lerbjerg og Brantebjerg ²¹. Såfremt klintfodens højde kan tilskrives Stenalderhavet, må bølgerne kraft under pålandsstorm have været anseelig, idet det højeste niveau for havstokke langs Kattegatkysten i dag ligger mellem 2,5 og 3 meter over dagligt vande. Sandsynligheden for at ishavet har medvirket til dannelse af den nu hævede kystklint mellem Lerbjerg og Tisvildeleje er således til stede, men dette har foreløbig ikke kunnet eftervises.

Den hurtige havspejlssænkning i Senglacialtiden medførte, at en eventuel ishavsfjord i området hurtigt er blevet tørlagt ¹. Under Fastlandstiden, som dækker perioden fra den yngre del af Senglacial og den ældre del af Postglacial indtil Stenalderhavet skyllede ind over landet (14.000 år – 9.000 år siden), blev området i begyndelsen udsat for erosion og dannelse af floddale og regnkløfter efterfulgt af et varmere klima og indvandring af den tætte løvskov og en mere behersket nedbrydning af istidslandskabet.

Stenalderhavet

Fastlandstiden ophørte, da havet atter trængte ind i det sydlige Kattegat og Bælterne for omkring 9000 år siden. Boringer 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 ¹⁸. Havstigningen fortsatte og Stenalderhavet (*Littorinahavet*) nåede sin maksimale højde omkring 1.500 år senere (Fig. A3).

Herefter forblev Arresø gennem mere end 4.000 år en havbugt med højt havniveau, der havde forbindelse til Kattegat gennem farvandet mellem Liseleje og Tisvildeleje, og som var forbundet med Roskilde Fjord via et smalt men dybt sund nord for Frederiksværk – Brødemose Sund. 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 kystkliner ses flere steder langs Arresøens bredder (Fig. A3).



Fig. A14: Stenalderhavets største udbredelse mellem Kattegat og Arresø

Indtil for knap 4.500 år siden bevarede havet i Arrefjorden og Brødemose Sund sit høje havspejl og var i begyndelsen præget af høj saltholdighed, stærke bundstrømme og betydelige tidevandsforskelle, hvilket betød at Østers var almindelig (Fig. A14). 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 ¹⁷.

Brødemose Sund kunne have forårsaget afsnøring af det smalle farvand. Dannelse 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 Arrenæs eller fra klinterne ved Lerbjerg ud mod Asserbo. Efter den kortvarige brakvandsfase blev forbindelsen gennem Brødemose Sund igen etableret og Arresø atter en del af Stenalderhavet, men nu under forandrede omstændigheder (Fig. A15).



Figur A15: Udbygning af krumodder og dannelse af strandvolde på den flade tærskel mellem Kattegat og Arresø medførte indsnævring af Brødemose Sund og mere forarmede marine forhold i Arresø.

Under den efterfølgende periode for mellem 6.200 år til 2.500 år siden, blev miljøet i fjorden langsomt men ubønhørligt mere og mere forarmet. Den marine fauna blev fattigere, østers forsvandt, 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 brakt.

Arrefjorden lukkes

Da den yngste af fire episoder med høj vandstand i Stenalderhavet var forbi, faldt vandstanden omkring NØ-Sjælland som følge af landhævning, nu hvor det globale havniveau havde nået sit

højeste niveau. Hertil skal lægges virkningen af de klimaforandringer i mere kølig og fugtig retning, der trængte sig mere og mere på mod Stenalderens slutning.

Data fra Anholt viser, at havniveau over en relativ kort periode fra 4.400 år til 3.500 år siden faldt omkring 2 meter ¹⁹, sandsynligvis som følge af begyndende vækst af iskapper i de arktiske og alpine områder. Storme blev hyppigere, og vestenvinden blev fremherskende. Bølgeslag og havstrømme gik til angreb på kysterne, og udviklingen gik imod en mere retlinet kyst på tværs af den dominerende vindretning, som den kyst vi kender i dag – udligningskysten. 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 fjorden, men med tiden blev stadig mere og mere materiale lagt på kysten, hvorved den voksede længere og længere ud mod det, der nu er vor moderne Kattegatkyst.

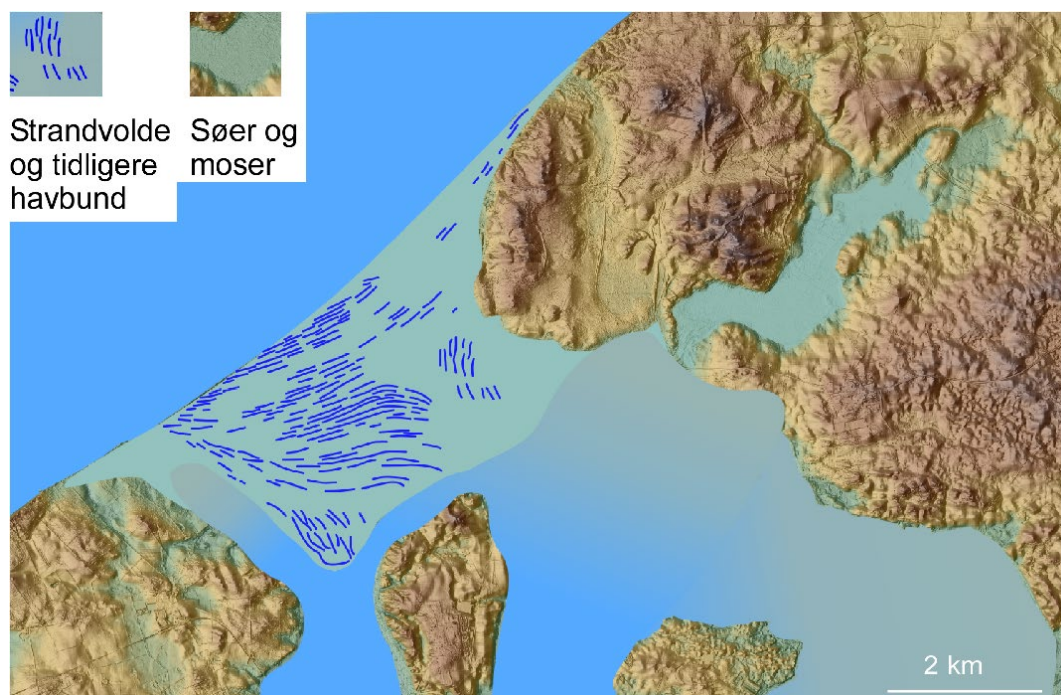
I løbet af 3-4 tusind år mellem bondestenalderen og tidlig jernalder voksede den sandede og stenede strandvoldsslette mellem Liseleje, Tisvildeleje og Arresø frem (Fig. A16). Det er voldene i det indre af sundet, der er ældst, idet de her er hævet til det højeste niveau på strandvoldssletten, nemlig mellem 6 - 7 meter over havet. Jo længere ud gennem Tisvilde Hegn og Asserbo mod Stængehus, desto yngre bliver de. Samtidig ligger de også lavere i forhold til nutidens havspejl, da de i kortere tid end de indre strandvolde har været udsat for landhævning.

Hævning og udbygning af strandvolde førte til lukning af indløbet ved Liseleje hvilket medførte 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.

De tidligste af disse findes vest for Arrenakke og omkring Asserbo, hvor arkæologiske udgravninger har vist, at folk sent i jægerstenalderen havde gjort ophold neden for 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 ¹⁸. 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.

Landhævning og sandflugt

Selv om 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. Sandflugten havde flere årsager, der på uheldig vis forstærkede hinanden, men det var det kølige klima i Nordvesteuropa, der var ledsaget af isvækst i polaregnene med heraf følgende lavt havniveau og lav grundvandsstand, der lagde grunden til disse seneste større geologiske begivenheder. Faldende temperaturer og nye storm- og lavtryksbaner samt ændrede havstrømme ramte Europa i Jernalderen og tiltog i styrke op til vor tid.



Figur A16: Model af den yngre del af den marine udvikling i Arresø og Brødemose Sund. Adgang til Kattegat blev lukket af odder og strandvolde.

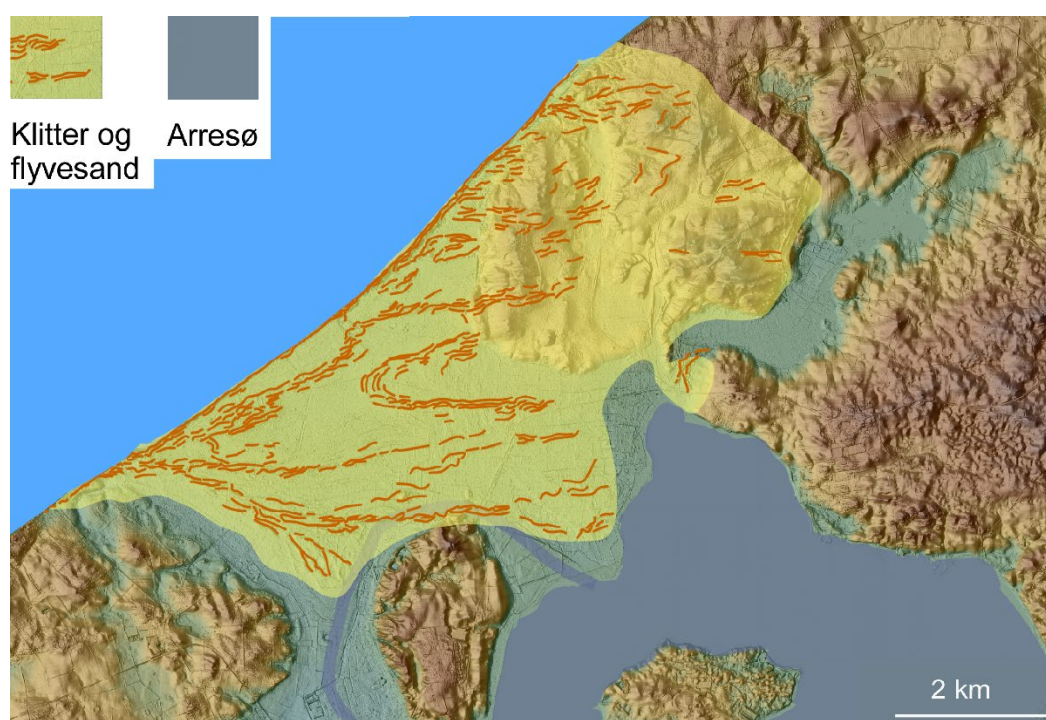
Især fra middelalderens slutning og nogle århundreder fremover var vintrene koldere end tidligere, og flere storme herskede mere end normalt under perioden kaldet "den lille istid". Om følgevirkningerne heraf kan siges, at der til de geologiske processer skal føjes menneskelige faktorer som overgræsning 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.

Sænkning af den globale temperatur under den lille istid havde fået havspejlet til at falde. Først og fremmest fordi gletsjere under deres vækst binder store mængder nedbør, som således ikke vender tilbage til havet, men også fordi det koldere havvand fylder mindre. Da havspejlet 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 lettere vil blæse omkring i landskabet, og samtidig svækkes vegetationen. Når der derefter, f.eks. på grund af vinderosion og overgræsning, rives hul på vegetationsdækket, kan vældige sandmængder hurtigt blive fanget af vinden og gå i drift. Dermed blev grunden til sandflugten lagt. Sandet blev især hentet på sletten ved Arrefjordens tidligere munding og i vindblæste hulninger i stenalderhavets kystklitter (Fig. A17).

Tilførslen af sand stoppede, da vinden ikke længere kunne få fat i løst, tørt sand. Det kunne f.eks. ske, når så meget sand var fjernet, at stenene lå tilbage som en tæt brolægning, der beskyttede det underliggende sand. Sådanne stenbrolagte afblæsningsflader er udbredte i dele af Asserbo Plantage. Afblæsningen af sand kunne også blive stoppet, hvis overfladen nåede ned til grundvandet, eller hvis sandet feg ud over en vandflade som f.eks. Arresø. Afblæsningsflader kan i nutiden ses på den brede sandstrand efter stormvejr.

Hvor afblæsningen og klitvandringen har været mindre voldsom, blev sandet samlet i småklitter i læ af græstuer, sten eller andet. Her opstod et mere uregelmæssigt, småkuperet terræn, som i høj grad karakteriserer flyvesandslandskabet i Tisvilde Hegn. Overalt i det tidligere landbrugsland 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. 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. Den endelige standsning af sandflugten blev først sat i værk efter et større projekt med tilplantning i 1800' tallet.



Figur A17: 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.

Nedslag: Klinten ved Liseleje – glimt af 6.000 års historie om dannelsen af den moderne kyst

Efter stormvejr er lagene i den lave kystklint ved landingsstedet i Liseleje ofte frilagt, og de vil i begrænset tid være synlige, indtil klinten skrider sammen igen. Tæt under klinten ved landingsstedet kunne lagfølgen tidligere ses i detaljer ¹, 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 og den moderne sandflugt. Geologiske undersøgelser har vist, at materiale fra klinterne ved Hyllingeberg blev ført forbi Liseleje og ud i munden af Brødemosesund 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 ^{1, 22}.

I den stejle skrænt (Fig. A 18), ses nederst gråt skalførende ler med store mængder af især Hjertemusling og Strandsnegl (*Littorina*) afsat på det brakvandsprægede Stenalderhavs mudrede

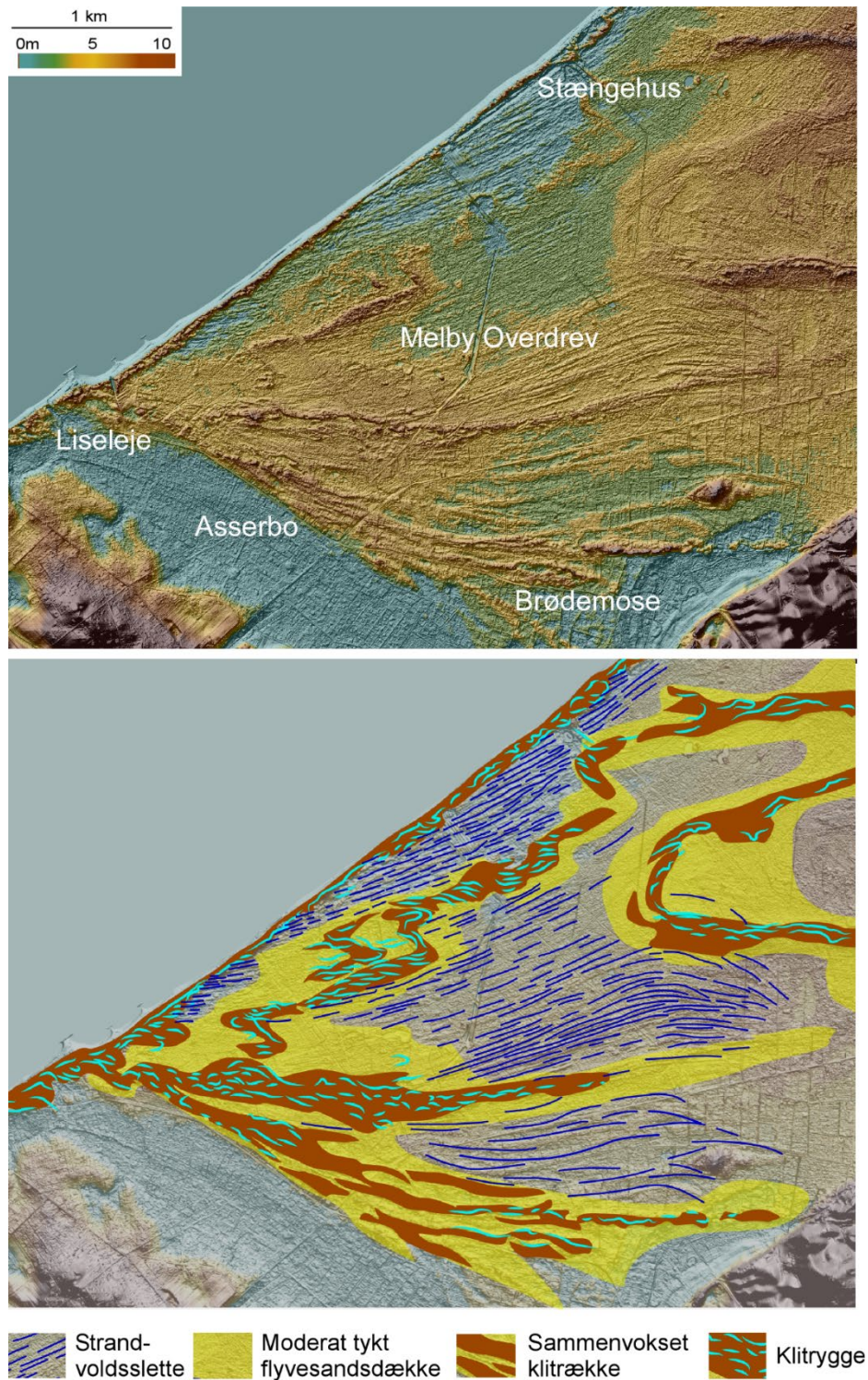
bund (L). Ind i mellem findes lag af sand med spor efter gravende organismer. Herpå følger sandede og grusede aflejringer, der hælder svagt mod nord, og som er dannet af odder ved udbygning langs kysten i retning mod Tisvildeleje (O). Oddesandet afsluttes opadtil af grusede og stenede strandvoldsdannelser 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 forrige århundrede, aldersbestemt ved bl.a. fund af ølkapsler og blåemaljeret køkkengrej (K).



Klintens lag vidner altså om indsnævring og efterfølgende lukning af Arrefjorden. Det skyldtes dannelse af odder, der oven på havbunden vandrede ind mod fjordens munding. Som følge af faldende vandstand og sedimentophobning blev oddedannelsen efterfulgt af opskylning af strandvolde. Da strandvoldssletten var hævet tilstrækkeligt og stabiliseret, gav det mulighed for dannelse af en jordbund. Klitter og flyvesand har forseglet det tidligere landskab.

Nedslag: Melby Overdrev

Området bag Liseleje kystklint viser, hvordan de geologiske lag er foldet ud over landskabet. Omkring Melby Overdrevs gamle skydeterræn er de hævede strandvolde og klitformationerne synlige, fordi vegetationen jævnligt holdes nede. Overdrevet har en større udbredelse end blot det åbne land, og hvor landskabet dækkes af skov i Tisvilde Hegn er terrænformerne mindre synlige, imidlertid afslører det digitale kort detaljer, der ikke tidligere har kunnet erkendes (Fig. A19).



Strandvoldssletten på Melby Overdrev er i vekslende grad dækket af flyvesand. Hvor sanddækket er ringe, 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. Voldene ligger i lange parallelle baner med retninger omtrent sydvest – nordøst, lagt vinkelret på 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 mere ligeryggede og yngre bliver voldene.

Langs stranden opbygger flyvesandet langstrakte op til 10 meter høje rækker af kystklitter (Fig. A20). 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. 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 strejle 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.

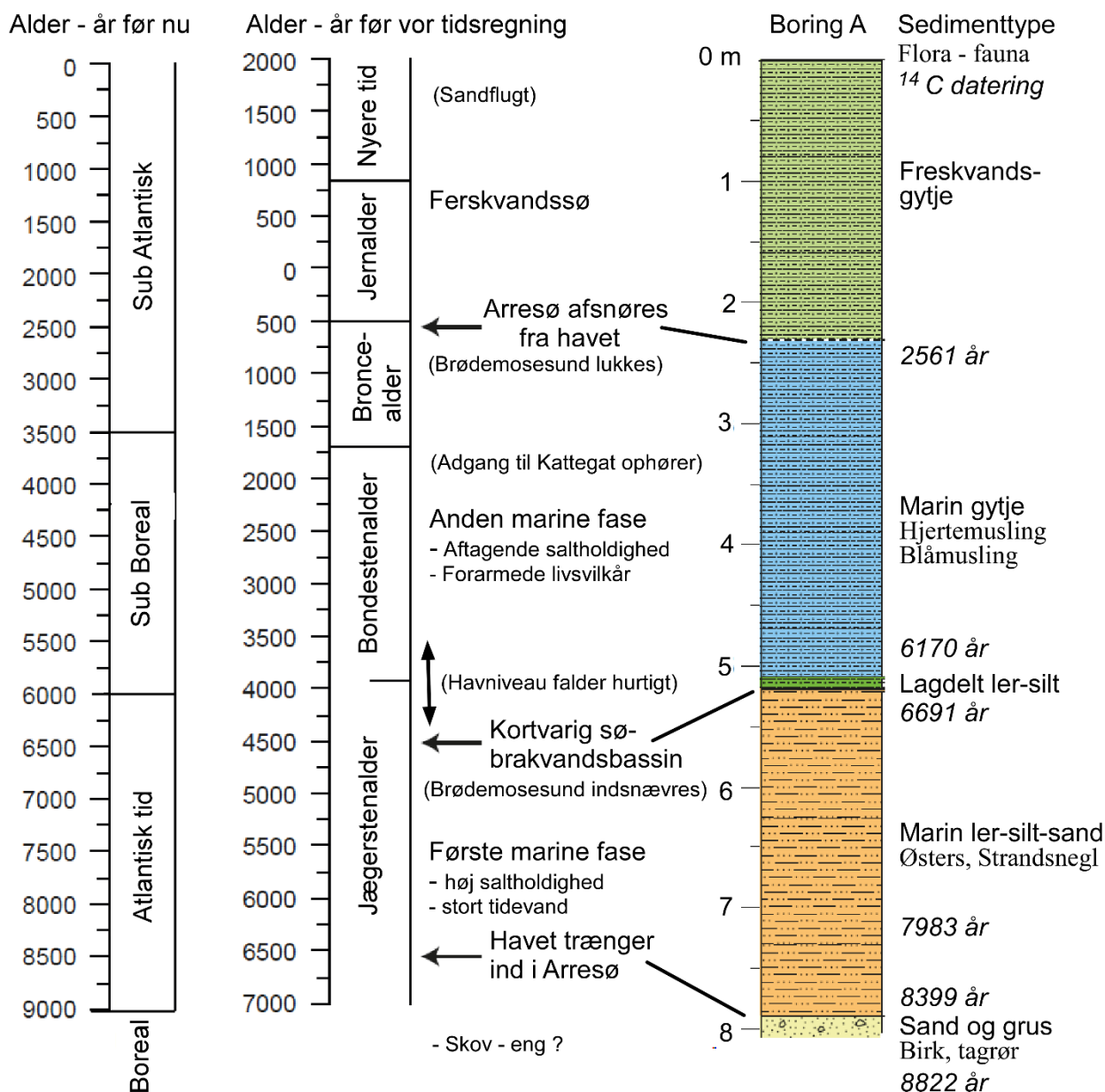
På overdrevet og i Tisvilde Hegn er klitrækkerne i nogen grad ordnet i buede formationer, der i lighed med ørkenernes store barkhan-klitter nogle steder har opnået et næsten halvmåneformet udseende, med åbningen væk fra den fremherskende vindretning. Klitrækkerne fremstår i dag som et fastfrosset ørkenlandskab, velbevaret i skov og overdrev, men mere uklart og nedslidt i de vidtstrakte sommerhusområder.



Figur A20: Melby Overdrev. Mindre klitformer bevokset med lynchede ligger som et tæppe over strandvoldssletten. I baggrunden rækker af kystklitter. Foto Nationalpark Kongernes Nordsjælland.

Nedslag: Boring i Arresø

Som supplement til tidligere naturhistoriske- og arkæologiske undersøgelser af Arresø og det omliggende terræn, blev der for få år siden udført boringer to steder i Arresø, nemlig mellem Øglehøj og Karsemose (Boring A, Fig. A21) og nord for Auderød halvøen ¹⁸.



Figur A21: Skematisk fremstilling af Arresø og omliggende områders udvikling. Tidsangivelse for begivenheder (i parentes) er usikker.

Boring A er lidt over 8 meter dyb og udført på ca. 2 meters vanddybde. Lagfølgen viser, 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 (*Littorina*). 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, et sediment med højt indhold af organiske rester med en mere artsfattig marin fauna, der bl.a. tæller hjertermusling og blåmusling. Boringens øverste knap 2,5 meter består af ferskvandsgytje med en lavvands fauna afsat i en fladvandet sø.

Aldersbestemmelser ved hjælp af kulstof ¹⁴C har dateret de marine faser til at have fundet sted mellem Jægerstenalder og Nyere tid. (1^{ste} marine fase: 8.500 år – 6.500 år, 2^{den} marine fase

6.200 år – ca. 2.500 år, og fra 2.500 år overgang til søstadiet). Vandstanden i søen forblev i samme niveau ca. 4 meter over nuværende havniveau, mens de omgivende havområder 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 isskjolde – med undtagelse af det i Grønland og på Antarktis, som tilpassede deres størrelse til de mere varme klimabetingelser. Det efterfølgende langsomme men stadige fald i havniveau er knyttet til den hævnning 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 må tilskrives begyndende gletsjervækst i de polare egne og højfjeldsområder grundet fald i de regionale temperaturer på de høje breddegrader.

Den kortvarige brakvandsfase og den generelle forarmning af havmiljøet under den 2^{den} marine fase i Arresø skyldes sandsynligvis tilsanding og vedvarende udbygning af strandvoldssystemer i Brødemosesund som følge af øget erosion langs Kattegatkysten forårsaget af klimaændringer. Selve Arrefjordens isolation og afspærring til havet skyldes nok den samlede virkning af de ovennævnte faktorer, men den udløsende begivenhed er efter alt at dømme strandvoldenes afspærring af adgang til havet. Selve Arresø har først sent mærket følgerne af sandflugten, idet afløbet til Roskilde Fjord blev spærret af klitternes vandring.

Litteratur

- ¹ Houmark-Nielsen, M. 2019: geologi-og-landskaber-i-nationalpark-kongernes-nordsjaelland.pdf (nationalparkkongernesnordsjaelland.dk)
- ² Rørdam, K. 1893: De geologiske Forhold i det nordostlige Sjælland. Kortbladene Helsingør og Hillerød. *Danmarks Geologiske Undersøgelse* Nr. 3. Genudgivet 1899 som: I rk. 1, 110 s.
- ³ Sjørring, S. 1974: Klinterne ved Hundested. *Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1973*, s. 108-117.
- ⁴ Sjørring, S. 1973: Some Problems in the Till Stratigraphy of the Northeastern Part of Sjaelland. *Bulletin of the geological Institute, University of Uppsala, New Series 5*, s. 31-35.
- ⁵ Jensen, V. 1977: St. Karlsminde klint - materialer og strukturer. *Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1976*, s. 47-55.
- ⁶ Milthers, V. 1935: Nordvestsjælland's Geologi. *Danmarks geologiske Undersøgelse*, 5 rk. 2.
- ⁷ Smed, P. 1981: *Landskabskort over Danmark. Blad 4: Sjælland m.m.* Geografforlaget.
- ⁸ Jacobsen, P.R. 2014: *Geomorfologisk kort over Sjælland, Lolland, Falster og Møn.* <https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/danske-kort/>
- ⁹ Richardt, N., Belhage, L. & Funder, S. 1999: Øresund i 20.000 år. *VARV* nr. 3, s. 67 – 95.
- ¹⁰ Odgaard, B. 2017: Fra Bondestenalder til Nutid. Kap. 15. *Naturen i Danmark, Geologien*, Gyldendal, 3. udgave, s. 335 – 362.
- ¹¹ GEUS, National Boringsdatabase 2019: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter/>
- ¹² Nielsen, J. B. 1987: Kvartærstratigrafiske observationer langs østsiden af Roskilde Fjord. *Dansk geologisk Forening, Årsskrift for 1986*, s. 41 – 47

- ¹³ Feddersen, H. H. 2003: *En sedimentologisk undersøgelse af sedimenterne omkring Kattegat Till Fm på fem nordsjællandske klinter*. Upubliceret cand. scient. afhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet, 65 s. plus appendix.
- ¹⁴ Houmark-Nielsen, M. 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central part of Denmark. *Bulletin of the geological Society of Denmark*, 36, s. 1-189.
- ¹⁵ Milthers, K. 1942: Ledeblokke og Landskabsformer i Danmark. *Danmarks geologiske Undersøgelse*, II rk. 69, 137 s.
- ¹⁶ GEUS 2018: Jacobsen, P.R. & Pedersen, S.A. *Digitalt jordartskort over Danmark*. 1: 25.000 og 1: 200.000. <https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/danske-kort/>
- ¹⁷ Fronval, T. & Jensen, N.B. 1992: *En stabilisotopisk undersøgelse af recente og flandriske sedimenter fra Arresø*. Upubliceret cand. scient. afhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet, 170 s.
- ¹⁸ Bennike, O., Pantmann, P. & Aarsleff, E. 2017. Holocene development of the Arresø area, north-east Sjælland, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 65, s. 25–35.
- ¹⁹ Clemmensen, L. B., Nielsen, L., & Konnerup-Madsen, J. (2012). Anholt. *Geoviden*, (1), 2-19.
- ²⁰ Madsen, V. 1942: Strandvoldene ved Hornbæk og Alderen af dem. *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*. Bd. 10, s. 83 – 100.
- ²¹ Rørdam, K. 1989: Saltvandsalluviet i det nordøstlige Sjælland. *Danmarks Geologiske Undersøgelse* II Rk 2.
- ²² Andersen, S. & Houmark-Nielsen, M. 2014: *Geologi og landskab – Naturgrundlaget formes*. I: F. Rune: *Tisvilde Hegn*. Forlaget "Esrum Sø", s. 15 – 45.

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