

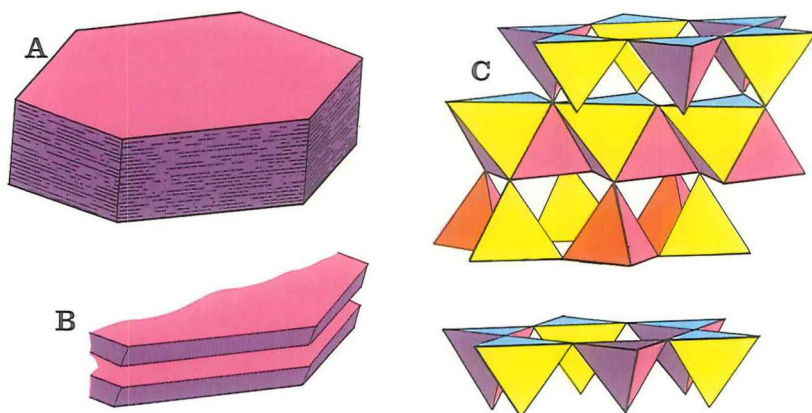
BENTONIT – især på Lolland

af Gerald Hyde, Kent E. Pedersen og Annette Dohm Pedersen

Ved århundredeskiftet blev bentonit foreslået som navn for en meget karakteristisk lertype, der findes i bjergarter fra Kridttiden i Wyoming i USA. De kretassiske bjergarter, der omslutter leret, var allerede kendt under navnet Benton Skifer efter den nærliggende forpost Fort Benton. Det var derfor naturligt også at navngive leret efter samme forpost.

Bentonit blev oprindeligt beskrevet som en ler med sæbelignende egenskaber. I dag ved vi, at det skyldes lerets store indhold af en gruppe lermineraller, der har fællesbetegnelsen *smectit*.

Lermineraller dannes typisk ved kemisk nedbrydning af silikatbjergarter som f. eks. gnejs, granit eller basalt. En af måderne, denne nedbrydning sker på, er,



Figur 1. Den principielle opbygning af smectit. A. En smectitkrystal har en sekskantet grundflade, men 'stablingen' i de enkelte elementarlag er forskudt, så krystallen bliver 'skæv' (monoklin). B. 2 elementarlag (lilla) med mellemliggende plads til udskiftelige joner. C. Princippet i opbygningen af et elementarlag, der består af et 'øvre niveau' af tetraedre (Si, O), et 'mellemliveau' af oktaedre (Al, Mg, Fe, O m. fl.), og et 'nedre niveau' igen med tetraedre (Si, O). Under elementarlaget er der et svagt elektrisk område med plads til udskiftelige joner og vand. Nederst ses det 'øvre niveau' af næste elementarlag. Elementarlaget i smectit er omkring 14 Ångström tykt. 1 Ångström er 10^{-7} mm.

at regnvand kemisk omdanner bjergartens oprindelige mineraler til lermineraler. Denne omdannelsesproces, der kaldes hydrolyse, kan resultere i dannelsen af flere forskellige typer lermineraler – afhængig af den oprindelige bjergarts sammensætning, det lokale klima og den tid, processen har påvirket bjergarten. Smectit har typisk vulkansk materiale som sin udgangsbjergart.

På grund af opbygningen i mineralgitteret er smectitmineraler negativt ladede på overfladen. Den negative ladning udlignes ved, at katjoner som f. eks. Na^+ eller Ca^{++} bindes til overfladen. Smectitens særlige egenskaber er blandt andet et resultat af, at disse katjoner kan udskiftes, og katjon-typen, der er bundet til leret, er bestemmende for lerets fysiske egenskaber.

På grund af den dobbelte ladning vil en katjon som Ca^{++} eksempelvis kunne bindes til overfladen af 2 lermineral-enheder og herved binde dem sammen. I modsætning hertil vil Na^+ med en enkelt positiv ladning kun kunne bindes til en lermineral-enhed. Derfor kan bentonit med et højt natrium-indhold optage store mængder vand imellem de enkelte lermineral-enheders overflader samtidig med, at leret udvider sig voldsomt.

Smectit findes i de fleste lerholdige aflejringer, men for det meste udgør smectit blot en ringe procentdel af de samlede lermineraler. Meget mere ualmindeligt er det, når indholdet af smectit-mineraler er så stort, at lerets fysiske egenskaber styres af smectit-indholdet. Først når det er tilfældet, taler man om bentonit. Bentonit kan derfor defineres som en lerbjergart, der hovedsagelig består af mineralgruppen smectit, og hvis fysiske egenskaber bestemmes heraf.

De egenskaber, der karakteriserer bentonit – og som udnyttes kommercielt – kan opdeles i 3 hovedgrupper:

1. bjergarten kan optage store vandmængder samtidig med, at den udvider sig
2. bjergarten er i stand til at udbytte store mængder af de katjoner, der sidder på mineralernes overflade
3. bjergarten har en ekstrem lav permeabilitet (evnen til at lade væsker passere igennem).

Disse egenskaber udnyttes i meget forskellige produkter – som boremudder i olieindustrien, i pilleproduktion i den farmaceutiske industri, som viskositetsregulerende middel i maling, som fodertilsætning til svinefoder samt til klaring af vin og madolie. Endelig kan det nævnes, at bentonit – ligesom moler – bruges til kattegrus.

En stor del af de bentonitforekomster, der udnyttes i dag, blev aflejret i Kridt-tiden, men bentonit er blevet dannet gennem store dele af Jordens historie og findes i aflejringer fra mange forskellige tidsperioder, både som ferskvands- og som havaflejringer.

Bentonit i Danmark?

Der er tidligere gennemført to store undersøgelser af mulighederne for at finde bentonit i Danmark. Resultaterne af disse undersøgelser (der begge er udgivet af

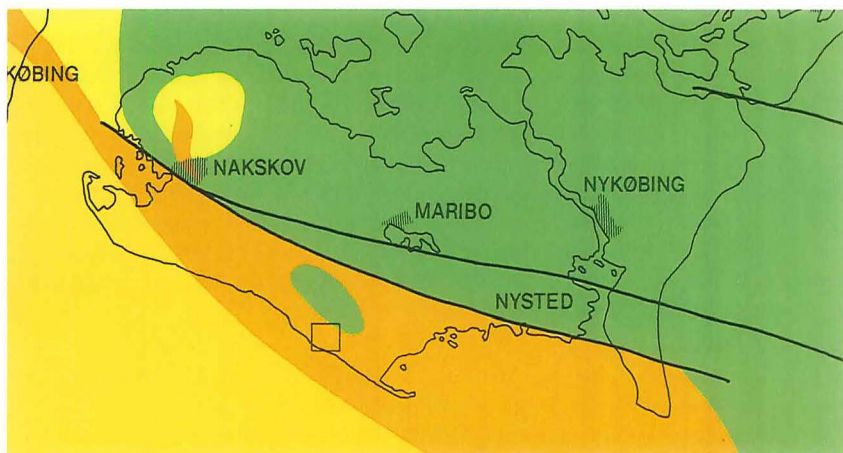
Figur 2. Stratigrafisk skema for den ældre del af Tertiæret i Danmark. En del af betegnelserne er formelle formationer, mens andre er meget anvendte trivialnavne.

EOCÆN	SØVIND MERGEL LILLEBÆLT LER RØSNÆS LER ØLST FORMATIONEN
PALEOCÆN	HOLMEHUS FORMATIONEN GRÅT KALKFRIT LER KERTEMINDE MERGEL LELLINGE GRØNSAND DANIEN KALK

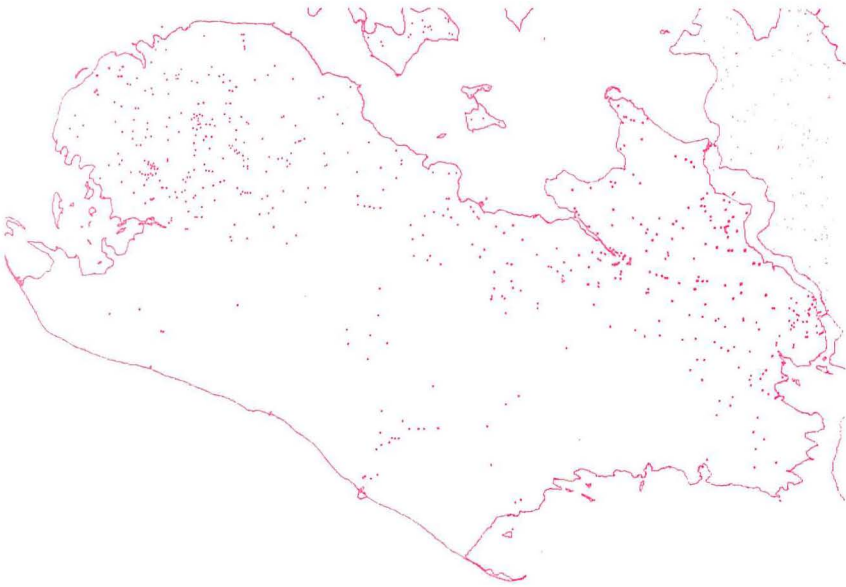
Skov- og Naturstyrelsen) godtgjorde, at der i Danmark findes flere leraflejringer af Tertiær alder med et højt indhold af smectit. Den Paleocæne Holmehus Formation og til dels det underliggende 'grå kalkfrie ler' blev vurderet til at være mest lovende til indvinding af bentonit, og gennem laboratorie- og fuldskala-afprøvning er det første danske bentonit-produkt blevet fremstillet. Det kunne dog også konkluderes, at det var tvivlsomt, om de undersøgte forekomster kunne føre til en rentabel produktion.

Bentonit på Lolland?

I den nordlige del af Lolland findes kridtaflejringer, der enkelte steder er overlejret af kalk fra Danien, mens aflejringer i den sydlige del tidligere er antaget for at være af Eocæn alder. De interessante aflejringer – Holmehus Formationen – som tidsmæssigt er placeret mellem Danien og Eocæn, er hidtil ikke registreret på Lolland.



Figur 3. Formindsket udsnit af Varv's undergrundskort over Lolland og Falster. Den mørkegrønne farve angiver Øvre Kridt (skrivekridt), lysegrønt er kalk fra Danien, brunt er Palæocæne aflejringer (yngre end Danien) og lysebrunt er aflejringer fra Eocæn. Rødbyhavn-området er angivet med en firkant.



Figur 4. Placeringen af borerne på Lolland. Bemærk, at størstedelen er vandboringer og derfor ligger i området, hvor der er kalk i undergrunden.

Med udgangspunkt i denne viden besluttede Storstrøms Amt derfor at iværksætte en efterforskning af mulige bentonitforekomster på Lolland. Nye geologiske oplysninger er især opnået i forbindelse med udførelsen af vandindvindingsboringer og geotekniske boringer. Godt 1000 registrerede boringer blev gennemgået med henblik på at lokalisere mulige tertiære leraflejringer. Gennemgangen resulterede i, at der kunne udpeges flere områder, som var egnede til videre undersøgelser. Blandt borerne i Rødbyhavn-området var der således en, 'motorvejsboring', der viste mere end 75 m ler, der kunne være af Tertiær alder. Et område øst for Rødbyhavn blev herefter detailundersøgt med geofysiske metoder og yderligere boringer.

Geofysiske forundersøgelser

Forskellige materials massefylde, indvirkning på magnetfeltet, evne til at lede strøm, måden at forplante lydbølger på og den naturlige gammastråling er alle eksempler på egenskaber, der kan måles på Jordens overflade eller i borehuller. Geofysiske undersøgelser giver derfor et billede af egenskaberne fordeling, og de kan tolkes som forenklede modeller af den geologiske virkelighed.

Det tertiære lers fysiske egenskaber er karakteriseret ved en lavere massefylde end de omgivende bjergarter (moræneler og kalk), evnen til at lede strøm er en-

orm i forhold til de omgivende bjergarter, og endelig er der en god kontrast i lyd hastigheden mellem ler og kalk.

Massefylden af dybtliggende lag kan ikke måles direkte, men ændringer i tyngdekraftens styrke fra sted til sted kan registreres ved hjælp af gravimetriske målinger. For det tertiære ler, istidsaflejringerne og kalken er forskellen i massefylde således tilstrækkelig stor til at adskille formationer med en vis udbredelse og tykkelse, afhængig af dybde under overfladen og af måletæthed.

Gamle gravimetriske målinger fra Lolland viste således områder med masseoverskud og områder med masseunderskud. Underskud tyder på tilstedeværelsen af materiale med en mindre massefylde end i omgivelserne, f. eks. Tertiært ler. I områder med dybe borer kan sådanne resultater kontrolleres. Boringen Rødby II – en næsten 3 km dyb olie-efterforskningsboring udført i 1953 – ligger i et masseoverskudsområde, og her findes der ca. 140 m glaciale aflejringer over kalken, mens 'motorvejsboringen', som indeholder 75 m fedt, formodentlig marint ler, ligger i et masseunderskudsområde. De gravimetriske undersøgelser viste yderligere, at denne lerforekomst strækker sig østover langs Lollands sydkyst.

Tertiært ler, moræneler, vådt sand og grus samt kalk yder forskellig modstand over for elektrisk strøm. Målingerne foretages med fire elektroder (normalt jernspyd, der stikkes ned i jorden i en lige linie), hvor de to yderste elektroder sender strøm gennem jorden, og de to inderste elektroder måler spændingsforskellen. Denne geoelektriske metode kan benyttes dels til arealdækkende undersøgelser, hvor den tilsyneladende modstand giver et billede af variation og udstrækning af en formation, og dels til punktmålinger, hvor der benyttes flere forskellige geometriske opstillinger, som gør det muligt at beregne tykkelse og specifik modstand af de underliggende lag.

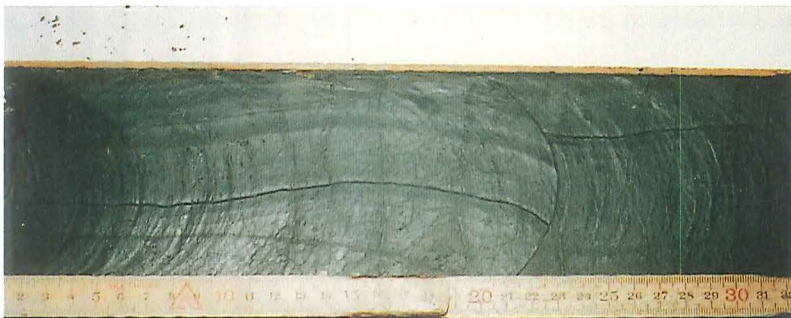
I området øst for Rødbyhavn gennemførtes arealdækkende målinger, der gav information om to områder med relativ lille modstand. Dette antyder, at lerforekomsten her ligger nærmere overfladen end i det mellemliggende område. Motorvejsboringen, der viste en dybde ned til leret på 12–13 m, ligger i det vestlige af de to områder. For at få en ide om mængden af overjord inden for området gennemførtes geoelektriske punktmålinger, der viste et dække på mellem 10 og 20 m. Da leret er godt elektrisk ledende, er det ved denne metode ikke muligt at fastlægge dets undergrænse.

Endelig udførtes seismiske undersøgelser, der registrerer lydbølgenes evne til at forplante sig i jorden. Udbredelsehastigheden og lagens massefylde er bestemmende for refleksionen af lydbølgerne ved laggrænser, og de reflekterede lydbølger registreres via geofoner (mikrofoner, som er specielt indrettet til at opfange lydbølger i jorden), der er udlagt på en linie fra lydkilden – ofte dynamit, der bringes til eksplosion tæt under jordoverfladen.

Undersøgelsen af et mere end 3 km langt profil viste, at leret har en regional udbredelse på et næsten vandret leje. Overfladen af leret er kun lettere kuperet og ligger mellem 10 og 25 m under terrænoverfladen. De seismiske undersøgelser viste også, at der ikke optræder interne strukturer i leret.

Geologiske undersøgelser

Resultaterne af de geofysiske undersøgelser blev benyttet til at udpege egnede lokaliteter til borer, der alle blev udført som kerneboringer. De fire borer med dybder mellem 27 m og 122 m viste øverst istidsaflejringer og derunder fedt Tertiært ler. Boring 1, der blev udført tæt ved den tidligere nævnte motorvejsboring, indeholdt godt 77 m Tertiært ler. I den øvre del er leret tydelig lagdelt, men lagdelingen er delvis ødelagt af talrige gravegange, der ses som mørke 'skygger' (rør og pletter) i det grønne ler. I borekernen ses enkelte små forkastninger, men ellers ingen tegn på, at lagsøjlen har været udsat for større forstyrrelser. I borerne 2, 3 og 4 er leret grønligt og stedvis svagt lagdelt, også med spredte gravegange.



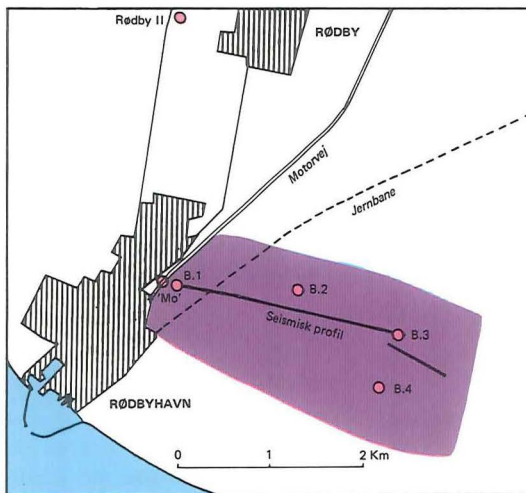
Figur 5. Udsnit af en borekerne bestående af fedt tertiært ler fra boring 1.

Der er udtaget prøver fra alle borerne, og især i boring 1 er de udtaget meget tæt. Disse prøver skal være med til at belyse de generelle geologiske forhold samt være med til at afgøre, om forekomsten kan udnyttes kommercielt.

De stratigrafiske undersøgelser, der er udført af C. Heilmann-Clausen (Aarhus Universitet), viser – på grundlag af fossile dinoflagellater (se Varv 1990/4), at leret i den øvre del af boring 1 kan henføres til Holmehus Formationen, medens det underliggende tilhører 'gråt kalkfrit ler', begge fra Øver Paleocæn. Leret i de tre øvrige borer tilhører Holmehus Formationen, dog optræder der i boring 2 også dinoflagellater af Yngre Eocæn alder.

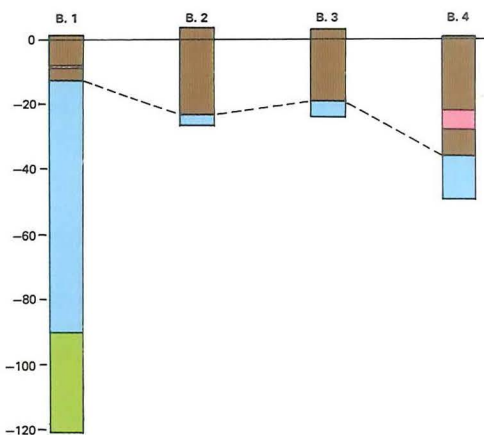
De øvrige undersøgelsesresultater vidner om stor ensartethed fra top til bund af det tertiære ler, dog stiger evnen til at kvælde (svulme op ved vandoptagelse) ned gennem det tertiære ler. Mineralselskabet i leret er domineret af lermineraller og kvarts. Plagioklas, kalifeldspat og christobalit/tridymit (højtemperaturkvarts) er nogle af de andre mineraler, der optræder i leret. Lerminerallerne be-

Figur 6. Kort over Rødbyhavnområdet. Boringerne er vist med rødt, 'Mo' er den i teksten omtalte Motorvejsboring. Den lilla farve angiver den indtil nu kortlagte bentonitforekomst.



står overvejende af smectit og illit med smectit som det dominerende mineral. Det totale smectitindhold i forhold til alle andre forekommende mineraler – og ikke kun i forhold til lerminerallerne – er gennemsnitligt 50%.

Figur 7. Hovedtræk af lagfølgerne i de fire nye undersørgelsesboringer. Lodrette skala er dybden i m. Brunt er moræneler og -sand, rødt er smeltevandsaflejringer, blå farve angiver det tertiære ler med højt smectitindhold, og grønt er kalk.



Råstofvurdering

Analyseresultaterne viser, at smectiten er styrende for bjergartens fysiske egenskaber, således at denne lerforekomst kan betegnes bentonit. Leret er i stand til at forøge sit volumen 3 til 6 gange, og evnen til at udbytte katjoner er høj, nemlig 4–5 gange højere end tilsvarende værdier for lerminerallerne kaolinit og illit.

Sammenlignet med resultaterne fra de tidligere nævnte bentonitundersøgelser i Danmark er smectitindholdet i bentoniten ved Rødbyhavn moderat. Til gengæld er Na^+ den dominerende katjon i leret, hvilket forhøjer kvaliteten, da den har en større evne til at optage vand. Indholdet af jern er relativt lavt, hvilket er en fordel, da jern i større mængder er uønsket i mange forskellige produkter.

Samlet kan bentoniten ved Rødbyhavn karakteriseres som en mellemkvalitet, der kan måle sig med mange af de bentonitprodukter, der i dag findes på verdensmarkedet. En afklaring af hvilke produkter, den undersøgte bentonit egner sig (bedst) til, kræver mere produkt-specifikke afprøvninger.

Opmåling af forekomsten giver en beregnet minimumsmængde på 400 millioner kubikmeter. Det er dog mest sandsynligt, at forekomsten er endnu større, da en endelig afgrænsning endnu ikke er blevet foretaget.

Bentonitforekomsten på Lolland er således af kommerciel interesse, både på grund af sin størrelse og på grund af aflejringernes store ensartethed. Det har ligeledes stor betydning for en eventuel udnyttelse, at forekomsten er uforstyrret. Transporten lettes ved forekomstens beliggenhed tæt ved havn, motorvej og jernbane.

Der produceres omkring 10 millioner tons bentonit om året på verdensplan. Olieindustrien er blandt storforbrugerne, hvor bentonit benyttes som boremudder, mellem 1,5 og 2 millioner tons om året. I malindustrien benyttes bentonit sammen med sand til at lave støbeforme. Hertil bruges omkring 2 millioner tons om året.

Størst stigning i bentonitforbruget ligger indenfor adsorberende materialer, herunder i form af kattegrus, hvor der alene i USA bruges over 1 million tons bentonit per år.



DAGU – Dansk Amatørgeologisk Union – er en sammenslutning af omkring halvdelen af de danske stenkubber. Unionen har til formål at udbrede og fremme kendskabet til geologi, mineralogi og palæontologi, samt at medvirke til sikring af geologiske lokaliteters bevaring.

Det var hensigten, at VARV i dette nummer skulle bringe en fortegnelse over de stenkubber, der er tilknyttet DAGU. Desværre kneb det med pladsen denne gang, men en fortegnelse bringes i næste nummer.

Læsere, der er interesseret i oplysninger om DAGU kan skrive til formanden: Mogens K. Hansen, Sanddalsvej 12, 1, 5700 Svendborg. Efter 1. september er adressen: Stationsvej 2M, 1. th., 5260 Odense S.