

STENTÆLLINGSMETODEN, LEDEBLOK- ANALYSEN OG GLACIALSTRATIGRAFI – EN KRITISK VURDERING

IB MARCUSSEN

MARCUSSEN, I.: Stentællingsmetoden, ledeblokanalysen og glacialstratigrafi – en kritisk vurdering. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1973*, side 20–42. København, 11. januar 1974.

Previous application of the stone-counting method and indicator boulder analysis in Denmark is discussed and the possibilities of errors are analysed. The stone-counting method seems to be inadvisable for correlations and the manner in which the indicator boulder analysis has been used in Denmark implies many errors. The meaning of the word glacial stratigraphy is discussed.

Ib Marcussen, Danmarks geologiske Undersøgelse, Thoravej 31, 2400 København NV, 10. september 1973.

De følgende betragtninger er en kritisk gennemgang af nogle undersøgelsesmetoder som en række forfattere har anvendt. Ved gennemgangen er der tillagt disse forfattere en større tillid til metoderne end de måske faktisk selv tillagde dem. Da det imidlertid kun sjældent fremgår af litteraturen i hvor høj grad denne tvivl hos disse forfattere har indflydelse på tolkningerne af analyseresultaterne og de glacialstratigrafiske teorier der følger deraf, har jeg valgt at se bort fra disse forfatteres mere »personlige« holdning.

Hensigten har været at påpege sådanne svagheder ved metoderne der betyder, at de ikke kan tillægges den altdominerende rolle ved undersøgelser af vore glaciale dannelser, som der hidtil har været tendens til.

Den terminologi jeg har anvendt er i overensstemmelse med den der er anvendt i ældre litteratur. Dog anvendes det litostratigrafiske udtryk moræneformation på samme måde som ordet till i engelsksproget litteratur, idet ordet moræne overvejende har en geomorfologisk betydning (Christensen & Marcussen 1972).

Artiklen er skrevet i nært samarbejde med mag. Knud Binzer til hvem jeg bringer min bedste tak. Statsgeolog, dr. phil. Helge Gry, mag. Peter Konradi og Henner Bahnson er jeg megen tak skyldig for inspirerende diskussioner.

Indledning

Et karakteristisk træk ved en moræneformation er dens dårlige sortering, hvorved et bredt spektrum af kornstørrelser er repræsenteret. Danske moræneformationer har almindeligvis dominans af sand- og siltfraktionerne, og fremtræder som en bjergart med finkornet matrix og spredte sten og blokke. Stenmaterialet udgør en broget blanding af bjergarter med repræsentanter fra så godt som alle formationer i Skandinavien. Denne kaleidoskopiske blanding af bjergarter tiltrak sig tidligt geologernes opmærksomhed. De ved første øjekast så ensartede moræneformationer viste sig ved en nærmere betragtning, at kunne opdeles i typer ved hjælp af stenindholdets sammensætning. Systematiske studier af de Kvartære glacigene dannelser ved hjælp af stenindholdet har især været udført i Danmark og de tilgrænsende områder af nabolandene. Ved undersøgelserne har to metoder været benyttet: Stentællingen og Ledebloksanalysen. Ved stentællingen inddrages samtlige bjergartstyper i en moræneformation i analysen, medens ledebloksanalysen kun tager hensyn til nogle få, karakteristiske bjergartstyper.

Det kan vises, at stenindholdets sammensætning i nogle moræneformationer ligner hinanden mere end andre, og den hypotese er blevet fremsat, at moræneformationer der viser en sådan lighed, kan korreleres og må være afsat af samme gletscher. Ledeblokindholdet skulle desuden kunne give oplysninger om den geografiske placering af gletscherne akkumulationsområder og de veje gletscherne fulgte herfra.

I betragtning af de mange undersøgelser, der er baseret på de to metoder kan det undre, at der kun er publiceret få arbejder der vurderer metodernes sikkerhed og anvendelighed, og dermed de grundlæggende hypotesers sandsynlighed. I den danske litteratur findes der, såvidt det er forfatteren bekendt, ingen kritisk vurdering af stentællingsmetoden. Lidt anderledes er forholdet for ledebloksanalysen, hvor væsentlige fejlmuligheder er blevet påpeget. Disse er der dog tilsyneladende ikke taget hensyn til ved senere undersøgelser.

Keld Milthers (1942) giver en oversigt over fejlkilder og lægger særlig vægt på kontamination. Andersen (1932 og 1945) analyserer spredningen af forskellige ledeblokke, og mener ikke at iagttagelserne er i overensstemmelse med det mønster, som kan forventes ud fra teoretiske overvejelser. Gry (1932) viser, at resultatet af en ledebloksanalyse er afhængig af de blokstørrelser, der inddrages i analysen. For eksempel forekommer nogle af de almindeligt benyttede ledeblokke hyppigst som store blokke og meget sjældnere som små. En iagttagelse som senere også er gjort af G. Lundqvist (1940).

Nærværende artikel søger at vurdere de to metoder som de er blevet anvendt til glacialstratigrafiske formål i det danske område. Ved glacial-

stratigrafi forstås her en stratigrafi, der som enhed har et vidnesbyrd om en glaciation (for eksempel en bundmoræne, en brolægning, et sæt skurestriber), idet glaciation ikke benyttes klimastratigrafisk. Der kan indgå flere glacialstratigrafiske enheder i en glacialtid for eksempel i Weichsel.

Stentællingsanalysen

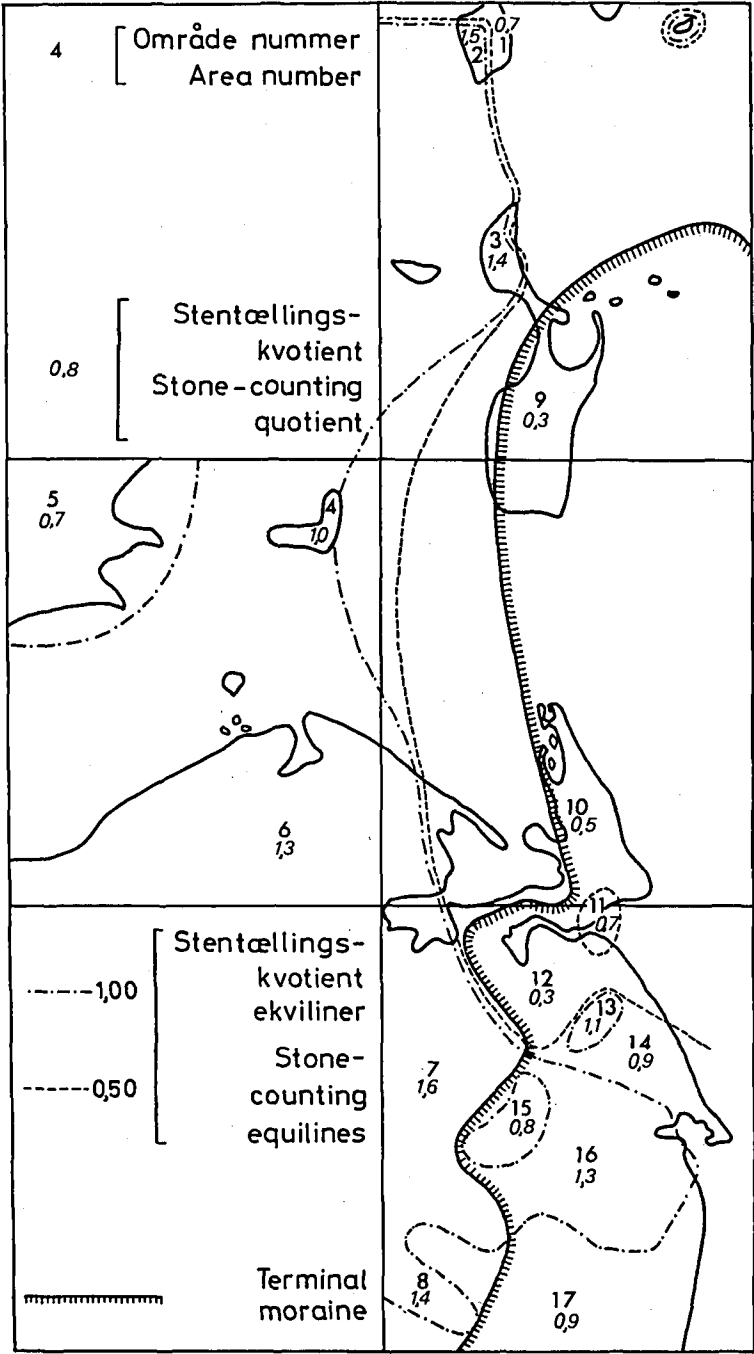
Forchhammer (1842) gør opmærksom på, at bjergarterne i de glacielle dannelser, rullestensformationen, i Danmark synes at forekomme med visse lovmæssigheder. Store blokke, større end 0,006 m³, består alle af bjergarter fra det skandinaviske grundfjeld, medens flinten findes blandt de mindre blokke. For de bløde Kretasiske bjergarter gælder det, at de bliver talrige jo mindre de undersøgte sten er. For at få et mål for bjergarternes frekvenser, tæller Forchhammer alle blokke af en bestemt størrelse (mellem een og to knyttede hænder) og udregner hyppighederne i procent. Efter som tællingerne blev udført på store sten måtte de af praktiske grunde foretages på steder, hvor store sten er koncentreret, for eksempel strandbredder og bækkejer.

Rørdam (1893) påpeger, at den metode kun kan give en grov oversigt over bjergarternes forekomst i de glacielle dannelser. Til undersøgelse i mindre områder og af bestemte moræneformationer udtager Rørdam (1893) prøver direkte af moræneleret. Prøverne vejer 0,5–1 kilogram. De bliver slæmmet og sigtet, og der bliver foretaget en bestemmelse og tælling af alle stene i fraktionen 2–10 mm. De relative hyppigheder af de litologiske grupper bliver derefter beregnet og opgivet i procenter. Det er den metode, der er blevet betegnet stentælling, og som senere er blevet anvendt af en lang række forfattere.

Ussing & Madsen (1897) benytter metoden, men bearbejder prøver på 10 kilogram materiale og foretager tællingerne på fraktionen 6–60 mm (sten mindre end hønseæg). Denne teknisk modificerede fremgangsmåde har med mindre ændringer sædvanligvis været anvendt i praksis i Danmark. Nedenfor er anført referencer hvori stentællingsmetoden er anvendt: Jessen 1897; Madsen 1897 og 1900; Rørdam & Milthers 1900; Madsen 1902; Milthers 1908; Madsen, Nordmann & Hartz 1908; Jessen, Milthers, Nordmann,

Fig. 1. Kort over nordøstlige Fyn og Samsø visende stentællingskvotientekvilinier (efter Madsen 1902) og terminal-moræne E for Storebæltsgletcheren (efter Madsen 1928). Talene angiver områdenumre og stentællingskvotienter. Det beregningsmæssige grundlag fremgår af tabel 1.

Map of northeastern Fyn, the Great Belt and the island of Samsø. A glacier is considered to have advanced from the south to the terminal moraine E. Data from table 1.



Hartz & Hesselbo 1910; Nørregaard 1912 a og b; Madsen 1916; Milthers 1925; Jessen 1930; Jessen 1931; Madsen & Nordmann 1940.

Bjergarterne i moræneformationen opdeles i typer, der er lette at identificere, og hyppigheden af typerne angives i procent af det totale antal sten. For at skabe større overskuelighed, dividerer Madsen (Ussing & Madsen 1897) procenttallet for flint med procenttallet for eruptiver, og får derved et udtryk for forholdet mellem lokalt og fjerntransporteret materiale. Det tal benævnes stentællingskvotienten (af Madsen dog stentællingskoefficienten).

Madsen tillægger dette index stor betydning, idet han mener, at det endtydigt karakteriserer en moræneformation, og derfor er karakteristisk for den gletscher eller det gletscherfremstød, som aflejrte den pågældende moræneformation. Ved systematisk at udføre stentællinger i et område, skulle det således være muligt at kortlægge en moræneformations horisontale udbredelse. Fig. 1 viser Madsens (1902) kort over Storebælts vestlige del med »moræneformations-områder« udarbejdet efter det nævnte princip. Madsen (1916) anser det endvidere også for muligt ved hjælp af stentællingskvotienter at korrelere moræneformationer, der ligger langt fra hinanden.

Som konsekvens af det forudgående er det naturligt at søge sammenhæng mellem randmoræner og den horisontale udbredelse af bestemte moræneformationer, hvilket giver det kendte oversigtskort, som Madsen publicerede i 1928. Da det kort i meget høj grad danner basis for efterfølgende Kvartærgeologiske studier i Danmark, skal dets grundlag kort gennemgås.

Ved undersøgelserne af Røjle klint og Ristinge klint benyttes bogstaverne A–D som litostratigrafisk betegnelse for de moræneformationer der forekommer i disse klinte. Madsen korrelerer den nederste moræneformation i Ristinge klint med den næstøverste i Røjle klint og med overflademorænen i de dele af Sønderjylland, der ligger øst for hovedopholdslinien. Da denne moræneformation har fået bogstav-betegnelsen C medfører det, at hovedopholdslinien får betegnelsen stilstandslinie C. Med en tilsvarende argumentation bliver den af Harder (1908) på morfologisk grundlag påviste israndlinie i Østjylland benævnt stilstandslinie D.

V. Milthers (i Rørdom & Milthers 1900) fremsætter på grundlag af en hedesletteterrasse ved Tissø i Vestsjælland den teori, at en gletscher har bevæget sig fra syd mod nord gennem Storebælt. Madsen (1928) kortlægger udbredelsen af denne isstrøm ved hjælp af stentællingskvotienter. Den moræneformation storebæltsgletscheren aflejrte, bliver betegnet E, og følgelig kommer stilstandslinien for den maksimale udbredelse af storebæltsgletscheren til at hedde stilstandslinie E. Stilstandslinie F er etableret på grundlag af ledeblokke og morfologi. Senere danske studier, der benytter stentællingsmetoden, bringer ingen nye principielle synspunkter frem, vedrørende metoden benyttet som stratigrafisk værktøj.

Diskussion

Formålet med at analysere sammensætningen af gruset og de mindre sten i en moræneformation kan dels være at følge spredningen af en bestemt bjergart og dermed en isbevægelsesretning, dels at få et middel til at identificere moræneformationer med henblik på korrelationer.

Det første formål er blevet fulgt i en række undersøgelser i Sverige (G. Lundqvist 1935, 1940, 1951, 1963; Jan Lundqvist 1952, 1958, 1969; Gilbert 1955, 1965, 1967 a og b, 1969, 1970; Hoppe et al. 1959), og de har i væsentlig grad bidraget til forståelsen af nedknusningen og spredningen af det materiale, som isen optager og transporterer. Den problematik vil imidlertid ikke blive behandlet her, idet den er diskuteret tidligere (Marcusen 1973).

Analyserne af danske moræneformationers stenmateriale har udelukkende tjent det andet formål, idet stentællingsresultaterne er blevet benyttet på samme måde som man i biostratigrafien har benyttet ledefossiler. At identificere og korrelere moræneformationer ved hjælp af stentællingsmetoden forudsætter imidlertid, at resultatet af en stentælling virkelig er entydig for den undersøgte moræneformation på en sådan måde, at samme resultat opnås, når flere prøver analyseres.

Ved den omfattende undersøgelse af Røjle Klint udtog Madsen & Nordmann (1940) en serie på 33 prøver fra en litostratigrafisk veldefineret moræneformation. Der blev taget 3 prøver (nederst, i midten og øverst i moræneformationen) på 11 stationer, på en strækning af 280 meter langs klinten. Prøverne var alle på 10 kg og blev behandlet på samme måde, efter metoden hos Ussing & Madsen (1897). Antallet af sten i prøverne varierer fra 171 til 292 ($\bar{x} = 221$, $s = 29$) og vægten af dem varierer mellem 194 og 545 g ($\bar{x} = 342$, $s = 82$). Stentællingskvotienten ligger mellem 0,42 og 1,86 ($\bar{x} = 0,92$, $s = 0,39$), se fig. 2.

Den store spredning af analyseresultaterne gør en anvendelse af for eksempel middelværdien som karakteriserende index for denne moræneformation yderst tvivlsom.

Som tidligere omtalt, anser Madsen (1902, 1928 og Madsen & Nordmann 1940) det for muligt ved hjælp af stentællingskvotienten at opdele landskabet i områder med forskellige moræneformationer. Ulighederne mellem områderne antages at være udtryk for forskellige gletscheres aflejringer. Fig. 1 er en gengivelse af Madsens (1902) sammenstilling af analyseresultater fra det nordøstlige Fyn og egnene nord derfor. På figuren er stilstandslinien E for storebæltsgletscheren indsat efter Madsens senere kort (1928). Tabel 1 giver det talmæssige grundlag for Madsens kort. På kortet fig. 1 skal områderne 9–17 repræsentere storebæltsgletscherens aflejringsområde og bestå af en moræneformation (E) med lavere stentællingskvotienter end den moræ-

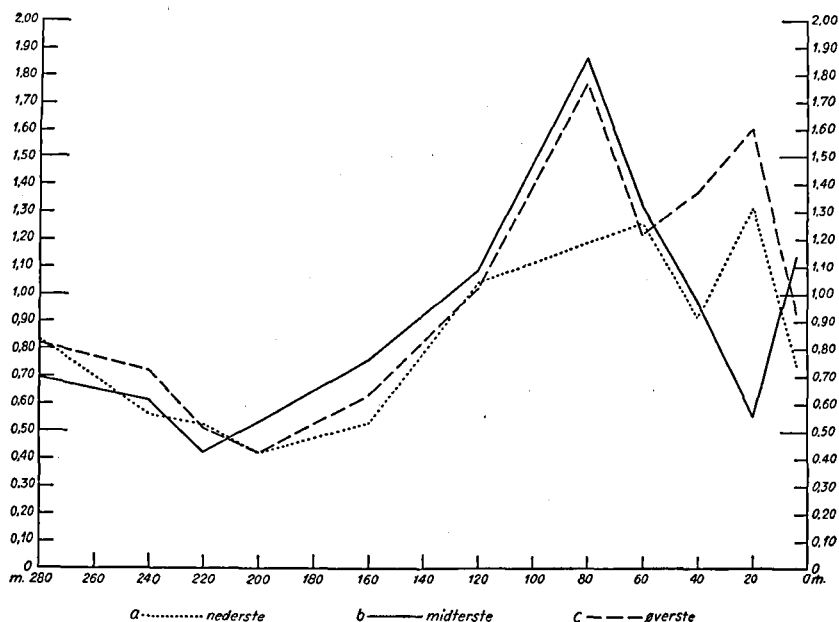


Fig. 2. Stentællingskvotientens variation i 33 prøver fra sandprofilet i Røgle klint. På hver station er udtaget 3 prøver (nederst, i midten og øverst). Efter Madsen & Nordmann (1940).

Variations of the stone-counting quotients in 33 samples from the sand profile in the cliff at Røgle. 3 samples were taken from the same till at each station (a: at the bottom, b: in the middle, c: at the top). After Madsen & Nordmann (1940).

neformation (D), der ligger udenfor (områderne 1–8). Tabel 1 viser imidlertid, at spredningen på stentællingskvotienterne er så stor, at 65 % af tællingerne hverken er typiske for moræneformation E eller D. Opdelingen af Storebælts regionen i de nævnte moræneformationsprovinser synes således funderet på et meget svagt grundlag. Det har som konsekvens, at teorien om en storebæltsgletscher kun får ringe støtte af resultaterne af Madsens stentællingsanalyser.

Da Madsens korrelationer kun bygger på moræneformationens indhold af to bjergartsgrupper (flint og eruptiver), kan det måske med rimelighed indvendes, at grundlaget er for spinkelt, og at alle bjergartsgrupperne bør inddrages. En sammenligning af tællinger på to eller flere prøver i samme moræneformation vil imidlertid i de fleste tilfælde vise meget afvigende resultater. En vurdering og sammenligning af analyser med 8–9 variable (bjergartsgrupperne) er meget vanskelig, og det har hos alle tidligere forfattere været et subjektivt skøn, hvor store forskelle der er acceptable, for at to prøver kan siges at være ens. En objektiv statistisk sammenligningsmetode, der tager hensyn til alle variable, er χ^2 -testen.

Tabel 1. Moræneformations-områder i Storebæltsregionen (se fig. 1).

Område nummer	Referencer	Antal tællinger	Stentællingskvotienten Stone-counting quotient		
Area no.		Number of counts	Gns. Mean	Standard deviation	Spredn. Range
1	Madsen, 1897.....	13*	0,7	0,5	0,2-1,8
2	Madsen, 1897.....	8	1,5	0,5	1,0-2,4
3	Madsen, 1897.....	14**	1,4	0,4	0,3-1,9
4	Madsen, 1900.....	4	1,0	0,3	0,6-1,3
5	Madsen, 1900.....	19	0,7	0,3	0,2-1,3
6	Madsen, 1900.....	26	1,3	0,4	0,7-2,1
7	Madsen, 1902.....	16	1,6	0,8	0,7-4,4
8	Madsen, 1902.....	2	1,4	0,1	1,3-1,4
9	Madsen, 1897.....	13	0,3	0,2	0,1-0,6
10	Ussing & Madsen, 1897.	7	0,5	0,2	0,4-0,8
11	Madsen, 1902.....	3	0,7	0,1	0,7-0,8
12	Madsen, 1902.....	2	0,3	0,4	0,0-0,5
13	Madsen, 1902.....	4	1,1	0,2	1,0-1,3
14	Madsen, 1902.....	10	0,9	0,3	0,2-1,4
15	Madsen, 1902.....	4	0,8	0,2	0,5-1,0
16	Madsen, 1902.....	17	1,3	0,2	0,9-1,9
17	Madsen, 1902.....	22	0,9	0,4	0,4-2,5
1- 8		102	1,2	0,6	0,2-4,4
9-17		82	0,8	0,4	0,0-2,5

* Madsen ekskluderer 2 tællinger (1,3 og 1,8), som er inkluderet her.

** Madsen ekskluderer 1 tælling (0,3), som er inkluderet her.

Ved en gennemgang af litteraturen er der fundet 64 tilfælde, hvor 2 eller flere prøver er udtaget i samme litostratigrafiske moræneformation. Disse prøvesæt er suppleret med 3 udtaget af forfatteren. En χ^2 -test på stenindholdets sammensætning i hvert prøvesæt har vist, at kun i 27 af de 67 prøvesæt er betingelserne opfyldt for, at stenindholdet hidrører fra samme population. (95 % fraktilen er benyttet).

De forskelle som i de fleste tilfælde konstateres mellem analyseresultaterne fra samme moræneformation kan tænkes at have flere årsager. En af årsagerne kan være, at de undersøgte prøver har været for små og derfor ikke repræsentative. Jan Lundqvist (1952) har på empirisk grundlag fundet nogle normer for, hvor mange sten der bør tælles. I de tre prøvesæt udtaget af forfatteren er der foretaget stentællinger på fraktionen 1,4-4 mm. Der er i hver prøve talt så mange sten, at tællingen må anses for repræsentativ i henhold til Jan Lundqvist (1952). χ^2 -testen, viser at ingen af de 3 prøvesæt hver for sig udgør en population. Denne undersøgelse tyder således på, at den tidligere konstaterede heterogenitet indenfor hver enkelt mo-

ræneformation ikke skyldes prøvetagning, men er en i moræneformationen iboende heterogenitet.

Der kan tænkes flere årsager til den påviste heterogenitet. Rørdam (1893) gør opmærksom på, at der kan være forskel på stenindholdet i en moræneformation indenfor ganske korte afstande. Da han tillige kan iagttage en bænkning, fremsætter han den teori, at en moræneformation »suksessive er bleven aflejret »læssevis««. Den ovenfor påpegede heterogenitet understøtter Rørdams opfattelse, idet de testede prøver kan hidrøre fra forskellige »læs«. Der synes at være i det mindste to mulige forklaringer på Rørdams iagttagelse. Bænkningen kan skyldes, at moræneformationen er aflejret ved flydeaktivitet (Marcussen 1973). Men moræneformationen kan også være aflejret som en bundmoræne, og lagene kan da repræsentere de materialefyldte shearplaner, fra gletscherens frontale dele.

Til trods for at danske moræneformationer i almindelighed synes at være heterogene, hvad angår stenindholdets sammensætning, kan homogene blandinger dog også findes (Bahnsen 1973).

Konklusion

Som Jessen (1935) også har understreget, kan to prøver vise samme stentællingsresultat uden at de hidrører fra samme moræneformation og to prøver der viser forskelligt stentællingsresultat behøver ikke nødvendigvis at hidrøre fra forskellige moræneformationer. Som korrelationsmiddel ved glacialstratigrafiske undersøgelser i Danmark må stentællingsanalysen derfor betragtes med skepsis.

Ledeblokanalysen

Stenmaterialet i danske moræneformationer, er sammensat af mange forskellige bjergartstyper. Oprindelsesstedet for flertallet af typerne, kendes ikke; men enkelte typer har et så karakteristisk udseende eller petrologisk sammensætning, at det er muligt at henhøre dem til det område, hvor de findes faststående. Sten af disse sidstnævnte bjergartstyper gav Rørdam (1893) betegnelsen ledeblokke.

Danske undersøgelser har næsten udelukkende omfattet ledeblokke, der er transporteret langt, og det til trods for at de er sjældne i vore moræneformationer. Hyppigheden af de almindeligst benyttede ledeblokke er mindre end 1 % af stenmaterialet, og da det tillige almindeligvis kun udgør en lille del af danske moræneformationer, er tællinger af ledeblokkene altid blevet udført på steder, hvor stenene af sekundære kræfter er blevet koncentreret (på stranden, i smeltevandsaflejringer eller i bunker af marksten).

Resultaterne af tællingerne angives i procent af det totale antal talte ledeblokke, eller af en mindre gruppe udvalgte ledeblokke.

Tidligere undersøgelser

På sine rejser rundt i landet blev Forchhammer (1842) opmærksom på, at porfyrer fra Oslo-egnen dominerer i de yngste aflejringer (rullestensformationen) i det nordlige og vestlige Jylland. Derimod er Palæozoiske kalksten fra det baltiske område karakterisk for aflejringerne i det sydøstlige Danmark. Forchhammers resultater hidrører fra undersøgelser af stenmaterialet på steder hvor dette er koncentreret, for eksempel bæklejer. Efter at glacialteorien var almindelig accepteret, blev de påviste fordelinger naturligt taget som et udtryk for gletschernes bevægelser og spredning af underlagets bjergarter. Da det blev klart, at der havde været to glaciationer, påpegede De Geer (1881), at den yngste moræneformation kan have inkorporeret tidligere aflejret materiale.

Rørדם (1893) tvivler stærkt på, at Forchhammers undersøgelser af ledeblokke på sekundært leje er anvendelig til stratigrafiske studier, og anser det for væsentligt, at stenmaterialet til en stratigrafisk undersøgelse bliver taget direkte fra den moræneformation der ønskes undersøgt. Ved sine undersøgelser i Nordsjælland følger Rørדם (1893) dette princip. En undersøgelse af kystklinten ved Gilleleje viser to moræneformationer mellemlagt af smeltevandssand. Rørדם anser den nederste, der indeholder rhombeporfyr fra Oslo-egnen, for at være aflejret af en gletscher der kom fra nord. Den øverste, i hvilken der ikke er fundet rhombeporfyr, men til gengæld ledeblokke fra Balticum, skulle være aflejret af en gletscher fra sydøst. Da det på dette tidspunkt blev antaget, at kun to glaciationer havde ramt det danske område (Johnstrup 1882), kan Rørדם derfor ikke komme til nogen anden konklusion.

For yderligere at belyse forholdet mellem forekomsten af baltiske og norske ledeblokke, fortsatte V. Milthers (1899) ledeblokundersøgelserne i det østlige Danmark. Da materialet i hovedsagen blev samlet på stranden, bliver mulighederne for sekundære forandringer af sammensætninger af ledeblok-selskaberne diskuteret; men V. Milthers mener, at ændringerne ikke er større end at der kan ses bort fra dem. På de fleste lokaliteter finder V. Milthers (1899) en blanding af norske og baltiske ledeblokke, og betragter det som et udtryk for, at den yngste moræneformation er blevet opblandet med ældre materiale. Milthers mener således ligesom Rørדם (1893), at to glaciationer har sat sine spor i Østdanmark; en ældre nordfra kommende is og en yngre is fra sydøst.

V. Milthers (1909) påbegyndte derefter en systematisk indsamling af ledeblokke i landene sydøst, syd og sydvest for den skandinaviske halvø. Ind-

samlingerne blev foretaget i grusgrave, på stranden eller i stenbunker på markerne. Kun ledeblokke (ca. 18 typer) og kun sten under størrelsen af en knyttet hånd blev talt. For at få et så ensartet materiale som muligt samlede Milthers i 1–2 timer på hver lokalitet. Ved hjælp af denne semikvantitative metode fremstillede V. Milthers en serie kort over spredningen og den relative hyppighed af ledeblokke fra tre forskellige områder i Mellemskandinavien.

V. Milthers (1932) fortsatte sine undersøgelser af ledeblokkene indenfor det danske område, men udvalgte af de mange typer nu 6, fordelt i 3 grupper. Hver gruppe består af 2 bjergartstyper og de 3 grupper hidrører fra henholdsvis Oslo-egnen (kaldet norske), Mellem-Sverige (kaldet dala) og Østersøen syd for Ålandsøerne (kaldet baltiske). Optællingerne foregik formentlig på samme måde som ovenfor angivet, men ved beregningerne baseredes frekvenserne kun på antallet i de tre grupper.

V. Milthers (1932) anser det for muligt, på grundlag af regionale uensartetheder i ledeblokgruppernes frekvenser, at få indicier for to forhold: 1. Den hovedrute gletscherne fulgte fra akkumulationsområdet til aflejringsområdet. 2. Retningen og udbredelsen af mindre, begrænsede fluktuationer af isranden. Ledeblokkene bliver hermed ikke blot et middel til karakterisering af moræneformationer, men også et middel til tolkning af glaciologiske forhold.

Keld Milthers (1942), Berthelsen (1949) og Krüger (1969) fortsætter undersøgelserne af de danske glaciale aflejringer øjensynlig på de nævnte grundlæggende principper.

Diskussion af ledeblokmetoder

Den kvalitative metode

Rørדם (1893) benytter, som tidligere anført, ledeblokke kvalitativt ved kortlægningen af Nordsjælland, dels til korrelationer dels til bestemmelse af fra hvilken retning den aflejrende gletscher kom.

Grönwall (1904) undersøger sedimentære blokke fundet på Sydfyn, Langeland og omliggende øer. Gennem sit store palæontologiske og stratigrafiske kendskab, henfører Grönwall bjergarterne til en række Palæozoiske formationer i det baltiske område, samt nogle Kretasiske og Tertiære formationer i Østsjælland (København-Køge området). Når blokkenes findesteder tages i betragtning kan to tilførselsveje tænkes; en fra nordøst og en fra syd-sydøst. Grönwall diskuterer mærkværdigvis kun den fra sydsydøst.

V. Milthers har gennem sine mange undersøgelser af skandinaviske ledeblokkes forekomst i Kvartære aflejringer vist, at med få undtagelser nær kan alle typer findes overalt i Danmark. Det synes derfor ikke muligt at

anvende de fjerntransporterede ledeblokke kvalitativt i glacialstratigrafisk øjemed.

Den kvantitative metode

Som tidligere påpeget er det meget vanskeligt at beskrive en moræneformation på en sådan måde at jævnførelse fra lokalitet til lokalitet er mulig. Moræneformationens sammensætning såvel granulometrisk som litologisk er meget kompliceret, hvilket gør udvælgelsen af karakteriserende træk vanskelig.

I stentællingsmetoden bliver alle korn i en veldefineret størrelsesfraktion taget i betragtning, men i ledebloksanalysen tælles kun sten af nogle få bjergartstyper og den benyttede kornstørrelse er ikke eksakt afgrænset, men svarer i de fleste analyser antagelig til fraktionen sten, som er 2–20 cm. Den fraktion udgør almindeligvis kun en meget lille del af danske moræneformationer, men af praktiske grunde er dens hyppighed vanskelig at bestemme. Formentlig udgør den omkring 1 vægt-procent af moræner.

Antallet af bjergarter der har været benyttet som ledeblokke har varieret stærkt. I almindelighed har danske og svenske forfattere kun benyttet få bjergartstyper (ca. 20), medens visse tyske forfattere, for eksempel Hesemann (1931), har benyttet over hundrede.

For ikke at sammenligne bjergartstyper der forholder sig uens overfor nedbrydning udvælger V. Milthers (1932) 6 typer. Derved begrænser han imidlertid undersøgelsesmaterialet yderligere, og det bliver da en uhyre lille del af en moræneformation, der bliver taget i betragtning.

I de følgende 7 afsnit bliver forskellige aspekter behandlet, der kan have indflydelse på analyseresultaterne og på tolkningen af disse.

Ledeblokkenes absolutte hyppighed

Tabel 2 viser en sammenstilling af ledeblokkenes (sensu lato og de 6 miltherske typer) hyppigheder i forhold til det øvrige stenmateriale i Danmark og i områder, der kan sammenlignes med det danske. Foruden de 139 tællinger der er fundet i litteraturen, har forfatteren udført 10 tællinger. Disse tællinger er udført på stranden og omfatter sten der bliver tilbageholdt af en 2,8 centimeter sigte.

Ledebloksanalysen inddrager således kun en meget lille del af det lettilgængelige stenmateriale (stranden, grusgrave, markoverfladen). Da analyserne imidlertid skal sættes i relation til moræneformationer, vil de følgelig kun inddrage en meget lille del af det materiale, som analysen anses for at behandle. Analysernes repræsentativitet er derfor tvivlsom. Det modsatte vil forudsætte en høj grad af homogenitet i moræneformationer, hvilket, som vist i et tidligere afsnit, oftest ikke er tilfældet.

Tabel 2. Ledeblokkenes absolutte hyppighed.

	Antal tællinger	Lokalitetstype	Antal talte sten	Antal talte ledeblokke (sensulato)	Frekvens i pct. af totale antal sten	Frequency in percent of total number of stones
	Number of counts	Type of locality	Number of counted stones	Number of counted indicator boulders	Ledeblokke (sensulato) Indicator boulders	Miltherske ledeblokke (6 typer) Indic. boulders used by Milthers
Matz 1903 (hos Milthers 1909) Mecklenburg	1	grusgrav gravel pit	8258	91	1,1	0,4
Nilsson (1959) SV Skåne	138	mark overflade field	200-3000	0-80	1,0	0,4
Sjællands Odde	4	strand beach	666-1102	1- 3	0,3	0,2
Alstrup strand	2	strand beach	432- 484	2- 6	0,9	0,3
Falsters østkyst	4	strand beach	568-1405	4-12	0,8	0,3
Geometrisk gennemsnit Geom. mean.					0,9	0,4

Kontamination

Som tidligere omtalt gør De Geer (1881) opmærksom på, at en moræneformation kan bestå af fjerntransporteret materiale og lokalt, tidligere afsat materiale. V. Milthers (1899) tolker, i overensstemmelse hermed, det blandede ledeblokselskab i den øverste moræneformation i Nordsjælland, som opstået ved inkorporation af en ældre moræneformation i en yngre. En forudsætning for V. Milthers tolkning må imidlertid være, at kun én glaciation går forud for den yngste. Såfremt der er to eller flere forudgående glaciationer, bliver mulighederne for bedømmelse af kontaminationen af den yngste moræneformation med ældre materiale uoverskuelig.

Madsen (1895 og 1899) inddeler på grundlag af palæontologiske under-

søgelser Kvartærperioden i 3 istider, og ved en undersøgelse af Eem-aflejringerne i Danmark (Madsen et al. 1908) bliver det vist, af disse interglaciale aflejringer er underlejret af én og nogle steder overlejret af to moræneformationer. Disse væsentlige undersøgelsesresultater tager V. Milthers (1899 og 1909) imidlertid ikke i betragtning. Endvidere tages der ikke hensyn til lithostratigrafiske forhold (ligesom Forchhammer 1842 ikke gjorde det), og de påviste udbredelser af ledeblokke (V. Milthers 1909) kan derfor kun betragtes som »en almindelig Oversigt over Rullestenes Fordeling i hele Landet«, som Rørdom (1893) udtrykker det i sin kritik af Forchhammers metode.

V. Milthers kort viser de veje ad hvilke ledeblokkene er blevet transporteret, men naturligvis ikke i hvilken rækkefølge det er sket.

K. Milthers (1942) fortsætter diskussionen om kontamination af en moræneformation med ældre materiale, og skriver: »Man må gøre sig klart, at Isstrømmene har passeret de samme Egne i forskellige Retninger inden for samme Nedisning; de har blandet deres Materiale op med det underliggende, og har derfor kun i ekceptionelle Tilfælde efterladt Materiale med et Blok-indhold, som giver et rent Udtryk for Strømmenes oprindelige Blok-indhold«. Da det imidlertid er uvist hvor stor kontaminationen har været, eller hvilken sammensætning det optagne materiale har haft, er det ikke muligt at afgøre sammensætningen af det sidst tilførte ledebloksselskab. Når K. Milthers (1942) derfor karakteriserer nogle tællinger som kontaminerede, og andre som »rene«, må forfatteren afgøre dette ved andre geologiske indikationer.

Spredning

I en diskussion med K. Milthers opstiller Andersen (1945) nogle teoretiske betingelser for, at K. Milthers (1942) kan benytte trekantsdiagrammet til bestemmelse af de »rene strømmes« (gletscheres) ledeblokssammensætning. Milthers svarer desværre ikke på den del af Andersens kritik. Nærværende forfatter mener imidlertid, at nogle af betingelserne ikke blot drager anvendelsen af trekantsdiagrammet i tvivl, men er af fundamental og generel betydning for benyttelsen af ledeblokke til glacialstratigrafiske studier i det hele taget. De væsentligste af de Andersenske betingelser er, at ledeblokkenes ophavsområder skal afgive lige mange ledeblokke og er af samme ringe horizontale udstrækning, at områderne ligger med samme indbyrdes afstand, at de tre områder ligger tilnærmelsesvis lige langt fra undersøgelsesområdet, og at gletscherisens transportevne er uafhængig af underlagets topografi.

Vor viden vedrørende nogle af forudsætningerne er endnu så ringe, at udsagn om dem bedst karakteriseres som gætteri. Andre af betingelserne er direkte ikke opfyldt.

Glaciologiske forhold

Den model for flydningen i et isskjold, som for nærværende anses for mest sandsynlig, giver kun ringe mulighed for at stenmateriale, der findes faststående under de centrale dele af isskjoldet, føres ud til randen. (Marcussen 1973).

Sedimentologiske forhold

Adskillige undersøgelser viser, at stenmateriale nedknuses ved transport og at hyppigheden af et givet materiale aftager efter en logaritmisk funktion (Krumbein 1937) i transportretningen. Når sten derfor er blevet transporteret fra Mellemsverige (Dalarne) til Syddanmark må stenene have været unddraget den almindelige slitage (Marcussen 1973). Transporten kan da tænkes at have foregået englacialt eller eventuelt på en nonglacial måde, for eksempel med drivis. Hvorledes stenene er kommet til at indtage en englacial position i centrale dele af et isskjold kræver imidlertid en forklaring, som endnu ikke er fremlagt.

Lokalitets-typer

Efter gennemgangen af de foregående mere teoretiske betragtninger vil nogle praktiske og metodiske spørgsmål blive berørt. Ledebloksanalyserne i Danmark er blevet udført på tre typer af lokaliteter: Grusgrave, stranden og markoverfladen. De to førstnævnte steder har været fuldstændig dominerende og udgør omkring 90 procent af alle udførte tællinger.

Et naturligt spørgsmål vil være i hvor høj grad de undersøgte stenselskaber er ækvivalente med de oprindelige stenselskaber (nemlig i moræneformationer), som de anses for at repræsentere, eller om de har været underkastet sekundære påvirkninger, hvorved de er blevet ændret. På forhånd er det afgjort, at såvel smeltevandsmateriale som strandmateriale i det mindste ligger på sekundært leje i forhold til den moræneformation, hvor det i denne sammenhæng må siges at have ligget på »primært« leje. K. Milthers (1942) gør da også opmærksom på, at materialet i smeltevandsaflejringer, kan bestå af blandinger. På lignende måde må strandstenene være blandede, når de klinter, som leverer stenene, består af to eller flere moræneformationer. Sådanne klinter af kompliceret opbygning er ikke ualmindelige. Dertil kommer at der langs stranden foregår transport af materiale. Store forskelligheder i stenmaterialets sammensætning kan endog findes langs strande, hvor klinter ikke er under nedbrydning (Noe-Nygaard 1959). Forskellene kan naturligvis hidrøre fra den eller de primære aflejringer, men skyldes antagelig i høj grad sekundær påvirkning (selektion).

Stenene som ligger løst på markoverflader er enten blevet talt in situ eller i de stenkupper, der er fremkommet ved markrydning. Muligheden for sekundær påvirkning af stenselskabets sammensætning synes ringe, og det er formodentlig rimeligt at antage, at tællingerne repræsenterer den øverstliggende moræneformation.

En χ^2 -test på 11 grupper af markstenstillinger, tabel 3, har givet til resultat, at kun i 6 af grupperne er det muligt at sammenligne tællingerne, det vil sige, at stenene indenfor en gruppe stammer fra samme population. Grupperne er valgt således at de, ifølge de nævnte forfattere, hver udgør en glacialgeologisk enhed, og således at afstandene mellem tællingslokaliteterne er små.

Konklusionen må derfor blive at strandsten og smeltevandsmateriale må anses for så sekundært påvirket, at det ikke med rimelighed kan henføres til en bestemt moræneformation. Derimod repræsenterer markstenene måske nok den yngste moræneformation; men de viser forskelle der tilsyneladende ikke er betingede af glacialgeologiske forhold.

Tabel 4 giver en oversigt over ledebloktællinger udført i Danmark, ordnet efter de lokalitetstyper, hvor tællingerne er foretaget.

Tabel 3. χ^2 -test af 11 grupper ledebloksanalyser af marksten.

	Numrene på benyttede tællinger hos de anførte forfattere	Max. km-afstand mellem tællingslokaliteter i grupperne	Resultatet af χ^2 -testen 95 % fraktilen er benyttet	
			samme population	ikke samme population
1 K. Milthers 1942	18/8, 9, 11 og 23/7	7	x	
2 - -	37/2, 5	7	x	
3 - -	54/4, 6, 12	10		x
4 - -	54/17, 19, 22, 24, 25, 28, 29	13		x
5 - -	58/5, 6, 7 og 59/2	19		x
6 Berthelsen 1949	17 og 24	11	x	
7 Krüger 1969	12 og 13	2,5	x	
8 -	20 og 14	5	x	
9 -	7 og 8	6,5		x
10 -	9, 10 og 15	7	x	
11 -	9, 10, 11, 12, 13 og 14	19		x

Korrelationer

Ledebloksanalyserne er i omfattende grad blevet benyttet til korrelationer af moræneformationer, med den hensigt at kunne angive den horisontale udbredelse af gletschere, eller gletschertunger.

Tabel 4. Fordelingen af ledebloktællinger efter lokalitetstyper.

	Fordeling af publicerede lede- markstentællinger bloktællinger efter lokalitets type			Antal hvor N $\geq$ 30 Number of field anal. in which N $\geq$ 30
	Publ. indicatorb. anal. after type of locality			
	Grusgrave Gravel pit	Stranden Beach	Markoverflade Field	
Milthers, 1909	62	7	6	4
Milthers, 1916	0	4	0	0
Milthers, 1925	10	0	0	0
Milthers, 1932	26	95	0	0
Milthers, 1934	1	0	2	2
Milthers, 1942	213	115	47	34
Berthelsen, 1949	12	2	4	3
Krüger, 1969	4	7	12	12
Total	328	230	71	55
Total i %	52	37	11	9

N $\geq$ k 5 (Reyment 1971), k er her sat til 6.

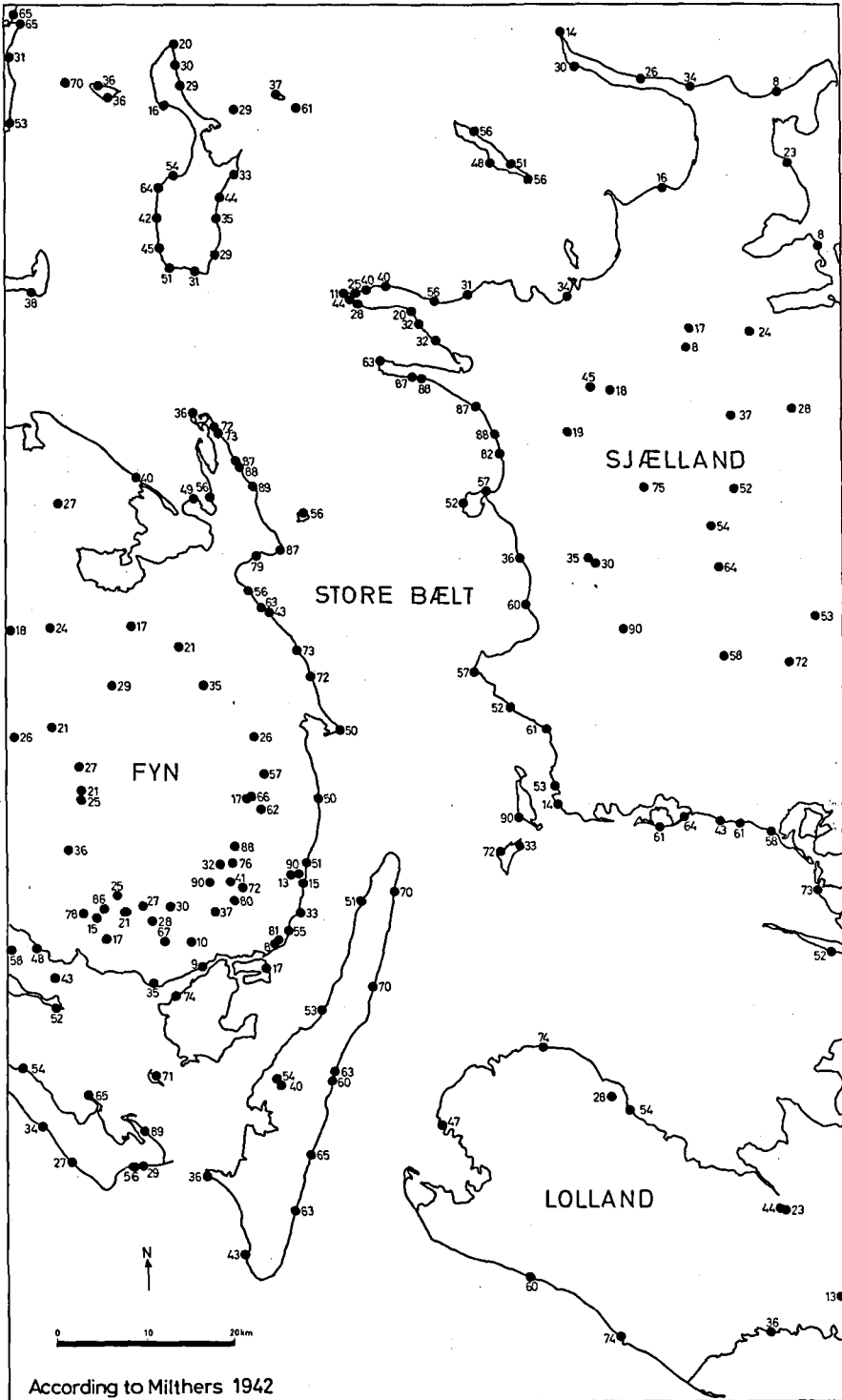
V. Milthers (1932), K. Milthers (1942), Berthelsen (1949) og Krüger (1969) korrelerer på grundlag af sammensætningen af ledeblokselskaberne. Det forudsætter imidlertid, at en gletscher aflejrer samme eller tilnærmelsesvis samme ledeblokselskab i hele sit aflejningsområde. Afgørelsen af om to analyser er ens, bliver hos de forfattere afgjort ved et subjektivt skøn. Som en objektiv, statistisk metode til sammenligning kan χ^2 -testen igen benyttes.

V. Milthers (1932) angiver følgende 8 områder til hver at udgøre sit glacialgeologiske aflejningsområde: Århusbugt og Nordsamsø, Horsens-Vejle (3 norskprægede analyser), Nordvestfyns »dødis-område«, Hindsholm og Asnæs, Sejerø, Røsnæs nordside, Røsnæs sydside, Asnæs. χ^2 -testen på analyserne i hver af de 8 områder viser, at ingen af stederne hidrører selskaberne fra samme population. Det negative resultat kan have to årsager, enten udgør områderne ikke glacialgeologiske enheder, eller også er det ikke muligt at korrelere ved hjælp af ledebloksanalyserne.

Fig. 3. Kort over Store Bælt området. Tallene angiver den procentuelle hyppighed af baltiske ledeblokke. Sammenstillet efter K. Milthers (1942).

Map showing the relative frequency of indicator boulders from the Baltic area in the Store Bælt region. Compiled from K. Milthers (1942).

Per cent baltic indicator boulders



Map of the Baltic Sea region showing the distribution of the mussel *Mytilus edulis* in 1942. The map includes the coastlines of Denmark (Sjælland, Fyn, Lolland) and the Baltic Sea. Numerous sampling stations are marked with dots and numbers. The distribution is concentrated along the coastlines, particularly in the Store Bælt and the Fynske Bælt. A scale bar (0-20 km) and a north arrow are provided.

According to Milthers 1942

According to Milthers 1942

For yderligere at belyse den problematik er kortene figur 3 og 4 tegnet. Kortene er fremstillet på grundlag af K. Milthers (1942) ledebloksanalyser. Ved tilsvarende undersøgelser i Sverige (G. Lundqvist 1935, Gilberg 1955, 1965, 1967a og b) har det været muligt at tegne isofrekvenslinier, der samtidig giver et billede af gletschernes bevægelsesveje. Når det ikke er muligt at tegne rimelige isofrekvenslinier på figur 3 og 4 kan det blandt andet skyldes de ovenfor anførte to årsager.

Konklusion

Tilstedeværelsen af alle ledeblokstyper så godt som overalt i landet udelukker anvendelsen af en kvalitativ metode til korrelationer. Hyppigheden af de enkelte ledeblokke eller ledebloksgrupper varierer stærkt indenfor korte afstande, med det resultat at det i almindelighed ikke er muligt statistisk at sammenligne ledebloksanalyser i endog tilsyneladende geologisk ensartede områder. En undtagelse er tætliggende markstenstillinger, der nu og da viser samhörighed.

Med de mange indbyggede fejlmuligheder og den høje grad af usikkerhed, må konklusion blive, at det ikke synes at være rimeligt at opstille en glacialstratigrafi i Danmark på grundlag af ledeblokanalyser.

Afsluttende bemærkninger

Salisbury (1900) påpeger, at en moræneformation normalt domineres af materiale af lokal oprindelse, og undersøgelser blandt andet i Sverige har fuldt ud bekræftet denne observation (Lundqvist, Gilberg samt Hörner 1944, 1946). En moræneformations petrologiske sammensætning kan således vise et meget nøje sammenhæng med det præ-Kvartære underlag umiddelbart under (Ekstrøm 1936, 1947, 1953, 1960, 1961 a og b).

Det underlag på hvilket Weichselglaciationens gletschere bevægede sig i det danske område bestod af såvel præ-Kvartære sedimenter som aflejringer analoge med dem vi idag har i overfladen. Ældre glaciæle sedimenter må derfor være indarbejdet i den sidste glaciations aflejringer. En ledeblok eller et stenselskab kan således ligeså godt være bragt hertil i Weichsel som i en ældre glaciation. Det generelle fordelingsmønster af bjergarter ud over landet viser dominans af sydnorsk materiale i den nordlige og vestlige del af landet og »baltiske« bjergarter i den sydøstlige. Det fordelingsmønster, der blev påvist af Forchhammer (1842) og mere detaljeret undersøgt af V. Milthers (1909), viser en exogene kræfters spredning af Sydsandinavien bjerg-

Fig. 4. Kort over Store Bælt området. Tallene angiver den procentuelle hyppighed af norske ledeblokke. Sammenstillet efter K. Milthers (1942).

Map showing the relative frequency of indicator boulders from the Oslo area in the Store Bælt region. Compiled from K. Milthers (1942).

arter. V. Milthers antager eensidigt, at årsagen til denne fordeling skyldes gletscher aktivitet i sidste istid. Da vi imidlertid har evidenser for mere end en istid, og andre kræfter også kan tænkes at have bidraget, synes V. Milthers antagelse for unuanceret.

Tidligere forfattere (for eksempel V. Madsen, V. og K. Milthers) søgte at opdele landområder i provinser karakteriseret af »ensartede« stenselskaber. I nærværende artikel er denne opdeling søgt vurderet statistisk ved hjælp af χ^2 -testen. Den sammenligningsmetode har den store fordel, at den er neutral, men den stiller til gengæld meget store fordringer til materialet. En anden metode til tolkning af analyseresultaterne er at bedømme tendensen i fordelingen af stenmaterialets sammensætning (Gry 1932). De på denne måde opnåede resultater bør imidlertid understøttes af andre indikationer (for eksempel morfologiske, tektoniske eller fabric analyser) for at kunne tillægges vægt ved en glacialstratigrafisk tolkning.

En udtømmende forklaring på de eksotiske bjergarters tilstedeværelse i vore Kvartære aflejringer synes ikke at kunne gives på nuværende tidspunkt. Gennem glaciologiske, sedimentologiske og glacialgeologiske undersøgelser kan problemet måske i fremtiden komme sin løsning nærmere.

Litteratur

- Andersen, S. A. 1932: Blokstudier og Isstrømme. *Meddr dansk geol. Foren.* 8, 201–204.
- Andersen, S. A. 1945: Isstrømmenes Retninger over Danmark i den sidste Istid, belyst ved Ledeblokundersøgelser. *Meddr dansk geol. Foren.* 10, 594–608.
- Bahnsen, H. 1973: Lithological investigations of some Danish boulderclay profiles. *Bull. geol. Instn. Univ. Uppsala, N.S.* 4.
- Berthelsen, A. 1949: Nogle ledebloktællinger på Horsensegnen. *Meddr dansk geol. Foren.* 11, 449–455.
- Christensen, O. B. & Marcussen, I. 1972: *Om stratigrafi og dansk sprogbrug*. København. 7 pp.
- De Geer, G. 1881: Några ord om bergarterna på Åland och flyttblocken derifrån. *Geol. För. Stockh. Förh.* 5, 469–484.
- Ekström, G. 1936: Skånes moränområden. *Svensk geogr. Årsbok*, 70–77.
- Ekström, G. 1947: Beskrivning till kartbladet Hardeberga. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ad*, 1, 91 pp
- Ekström, G. 1953: Beskrivning till kartbladet Lund. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ad*, 2, 102 pp
- Ekström, G. 1960: Beskrivning till kartbladet Löberöd. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ad*, 4, 48 pp.
- Ekström, G. 1961a: Beskrivning till kartbladet Revinge. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ad*, 3, 66 pp.
- Ekström, G. 1961b: Beskrivning till kartbladet Örtofta. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ad*, 5, 68 pp.
- Forchhammer, J. G. 1842: Den skandinaviske Rullestensformations Forhold i Danmark. *Skandinavisk Naturforskermøde*, 14 pp.
- Gillberg, G. 1955: Den glaciala utvecklingen inom Sydsvenska höglandets västra randzon. *Geol. För. Stockh. Förh.* 77, 481–524.

- Gillberg, G. 1965: Till distribution and Ice movements on the northern slopes of the south Swedish Highlands. *Geol. För. Stockh. Förh.* **86**, 433–484.
- Gillberg, G. 1967a: Further discussion of the lithological homogeneity of till. *Geol. För. Stockh. Förh.* **89**, 29–49.
- Gillberg, G. 1967b: Distribution of different limestone material in till. *Geol. För. Stockh. Förh.* **89**, 401–409.
- Gillberg, G. 1969: A great till section on Kinnekulle, W Sweden. *Geol. För. Stockh. Förh.* **91**, 313–342.
- Gillberg, G. 1970: Glacial Geology of Kinnekulle, W. Sweden. *Geol. För. Stockh. Förh.* **92**, 347–381.
- Gry, H. 1932: Undersøgelser over Ledeblokke i Skåne. *Meddr dansk geol. Foren.* **8**, 143–163.
- Grönwall, K. A. 1904: Forsteningsførende blokke fra Langeland, Sydfyn og Ærø. *Danm. geol. Unders. Række II*, **15**, 62 pp.
- Grönwall, K. A. & Milthers, V. 1916: Beskrivelse til Kortbladet Bornholm. *Danm. geol. Unders. Række I*, **13**, 281 pp.
- Harder, P. 1908: En østjydske Israndslinje og dens Indflydelse på Vandløbene. *Danm. geol. Unders. Række II*, **19**, 262 pp.
- Hesemann, J. 1931: Quantitative Geschiebebestimmungen im norddeutschen Diluvium. *Jb. preuss. geol. Landesanst. Berg. Akad.* **51(2)**, 714–758.
- Hoppe, G., Kindblom, B. O., Klein, K. & Klingström, A. & E. 1959: Glacialmorfologi och isrörelser i et Lapplandskt fjällområde. *Geogr. Annl.* **41**, 1–14.
- Hörner, N. G. 1944: Moräns mekaniska sammansättning. *Geol. Förh. Stockh. Förh.* **66**, 699–720.
- Hörner, N. G. 1946: Uppsalamoränens finfraktioner. *Geol. Förh. Stockh. Förh.* **68**, 419–428.
- Jessen, A. 1897: Beskrivelse til kortbladene Læsø og Anholt. *Danm. geol. Unders. Række I*, **4**, 48 pp.
- Jessen, A. 1930: Klinten ved Halkhoved. *Danm. geol. Unders. Række 4*, **2(8)**, 26 pp.
- Jessen, A. 1931: Lønstrup Klint. *Danm. geol. Unders. Række 2*, **49**, 142 pp.
- Jessen, A. 1935: Beskrivelse til kortbladet Haderslev. *Danm. geol. Unders. Række 1*, **17**, 95 pp.
- Jessen, A., Milthers, V., Nordmann, V., Hartz, N. & Hesselbo, A. 1910: En Boring gennem de kvartære lag ved Skærumhede. *Danm. geol. Unders. Række 2*, **25**, 175 pp.
- Johnstrup, F. 1882: Nogle Iagttagelser over Glacialphænomenerne og Cyprinaleret i Danmark. *Indbyd.skrift Univ. Fest., København*, 1–74.
- Krumbein, W. C. 1937: Sediments and exponential curves. *J. Geol.* **45**, 577–601.
- Krüger, J. 1969: Landskabsformer i sydlige Sjælland. *Geogr. Tidsskr.* **68**, 105–212.
- Lundqvist, G. 1935: Blockundersökningar, Historik och Metodik. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. C*, **390**, 45 pp.
- Lundqvist, G. 1940: Bergslagens Minerogena Jordarter. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. C*, **433**, 87 pp.
- Lundqvist, G. 1951: Beskrivning till Jordartskarta över Kopparbergs Län. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ca*, **21**, 213 pp.
- Lundqvist, G. 1963: Beskrivning till Jordartskartar över Gävleborgs Län. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ca*, **42**, 181 pp.
- Lundqvist, J. 1952: Bergarterna i Dalamoränernas block- och grusmaterial. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. C*, **525**, 48 pp.
- Lundqvist, J. 1958: Beskrivning till Jordartskarta över Värmlands Län. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ca*, **38**, 229 pp.

- Lundqvist, J. 1969: Beskrivning till Jordartskarta över Jämtlands Län. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. Ca.* 45, 418 pp.
- Madsen, V. 1895: Istidens Foraminiferer. *Meddr dansk geol. Foren.* 1(2), 229 pp.
- Madsen, V. 1897: Beskrivelse til Kortbladet Samsø. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 5, 87 pp.
- Madsen, V. 1899: Om Inddelingen af de danske Kvartærdannelser. *Meddr dansk geol. Foren.* 1(5), 1–22.
- Madsen, V. 1900: Beskrivelse til Kortbladet Bogense. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 7, 112 pp.
- Madsen, V. 1902: Beskrivelse til Kortbladet Nyborg. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 9, 182 pp.
- Madsen, V. 1916: Ristinge Klint. *Danm. geol. Unders. Række 4*, 1(2), 32 pp.
- Madsen, V. 1928: Oversigt over Danmarks Geologi. *Danm. geol. Unders. Række 5*, 4, 208 pp.
- Madsen, V. & Nordmann, V. 1940: Kvartæret i Røgle Klint ved Lillebælt. *Danm. geol. Unders. Række II*, 58, 142 pp.
- Madsen, V., Nordmann, V. & Hartz, N. 1908: Eem. Zonerne. *Danm. geol. Unders. Række II*, 17, 302 pp.
- Marcussen, I. 1973: Stones in Danish tills as a stratigrafical tool. *Bull. geol. Instn. Univ. Uppsala, N. S.* 4.
- Marcussen, I. 1973: Studies on Flow till in Denmark. *Boreas*, 2(4).
- Milthers, K. 1942: Ledeblokke og Landskabsformer i Danmark. *Danm. geol. Unders. Række 2*, 69, 137 pp.
- Milthers, V. 1899: Norske Blokke paa Sjælland. *Meddr dansk geol. Foren.* 1(5), 49–64.
- Milthers, V. 1908: Beskrivelse til Kortbladene Faxe og Stevns Klint. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 11, 175 pp.
- Milthers, V. 1909: Scandinavian Indicator-Boulders in the Quaternary Deposits. *Danm. geol. Unders. Række 2*, 23, 159 pp.
- Milthers, V. 1925: Beskrivelse til Kortbladet Bække. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 15, 175 pp.
- Milthers, V. 1932: Israndens Tilbagerykning fra Østjylland til Sjælland, Fyn, belyst ved Ledeblokke. *Danm. geol. Unders. Række 4*, 2(9), 70 pp.
- Milthers, V. 1934: Die Verteilung skandinavischer Leitgeschiebe im Quartär von Westdeutschland. *Abh. preuss. geol. Landesanst., N. F.* 156, 1–74.
- Nilsson, K. 1959: Isströmmar och isavsmältning i sydvästra Skånes backlandskap. *Sver. geol. Unders. Afh. Ser. C*, 567, 94 pp.
- Noe-Nygaard, A. 1959: *Strandsten*. København, 103 pp.
- Nørregaard, E. M. 1912a: Bovbjerg-Profilet. *Meddr dansk geol. Foren.* 4, 47–54.
- Nørregaard, E. M. 1912b: Diskussionsindlæg om Alnarpfloden. *Meddr dansk geol. Foren.* 4, 101–103.
- Reyment, R. A. 1971: *Introduction to Quantitative Paleocology*. Amsterdam, 226 pp.
- Rördam, K. 1893: Beskrivelse til Kortbladene Helsingør og Hillerød. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 1, 110 pp.
- Rördam, K. & Milthers, V. 1900: Beskrivelse til Kortbladene Sejerø, Nykøbing, Kalundborg og Holbæk. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 8, 143 pp.
- Salisbury, R. D. 1900: The local origin of glacial drift. *J. Geol.*, 8, 426–432.
- Ussing, N. V. & Madsen, V. 1897: Beskrivelse til Kortbladet Hindsholm. *Danm. geol. Unders. Række 1*, 2, 87 pp.