

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C.

Avhandlingar och uppsatser.

N:o 486.

ÅRSBOK 41 (1947) N:o 5.

DEN GLACIALA
LERANS VARVIGHET

EN STUDIE ÖVER
UPPSALATRAKTENS VARVIGA MÄRGEL

AV

GUSTAF ARRHENIUS

*Summary: The Varvity of the Glacial Clay. A Study
of the Varved Marl in the Uppsala Region.*

Pris 2:00 kr.

STOCKHOLM 1947
KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER
471330

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C.

Avhandlingar och uppsatser.

N:o 486.

ÅRSBOK 41 (1947) N:o 5.

DEN GLACIALA
LERANS VARVIGHET

EN STUDIE ÖVER
UPPSALATRAKTENS VARVIGA MÄRGEL

AV

GUSTAF ARRHENIUS

*Summary: The Varvity of the Glacial Clay. A Study
of the Varved Marl in the Uppsala Region.*

STOCKHOLM 1947
KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER
471330

Innehållsförteckning.

	Sid.
Inledning	5
Tidigare arbeten	6
Kap. I. Materialet	7
Struktur	7
Proveniens och preparering	9
Kap. II. Sedimentets karbonathalt	10
Förutsättningar	10
Metodik	11
Resultat	11
Lagar för den enskilda partikelns upplösning	15
Lagar för kornfraktionernas upplösning	19
Upplösningslagarnas tillämpning på det allmänna fallet	20
Försöksresultatens vittnesbörd om sedimentationsmiljön	22
Allmänna synpunkter på lerkoagulationen	25
Koagulationens orsaker i den varviga märelns sedimentationsmiljö	26
Kalkutfällning	29
Kap. III. Sedimentets kornstorleksfördelning	29
Metodik	29
Avvikelser i specifik vikt såsom felkälla	31
Materialets redovisning	32
Materialets förbehandling	37
Resultat	38
Kap. IV. Sedimentets färg	45
Kap. V. Sedimentets sulfidhalt	47
Kap. VI. Sedimentets redoxpotential	47
Förutsättningar och metodik	47
Resultat	48
Kap. VII. Sedimentets järnhalt och järnets oxidationsgrad	50
Förutsättningar	50
Metodik	50
Resultat	51
Kap. VIII. Sedimentets manganhalt	54
Metodik	54
Resultat	54

	Sid.
Kap. IX. Sedimentets halt av organisk substans	57
Förutsättningar	57
Metodik	57
Den organiska substansens fördelning	59
Organogen och minerogen sedimentationsintensitet	62
Det organiska materialets sammansättning	64
Kap. X. Resultatens allmängiltighet	66
<i>Summary</i>	69
Litteraturförteckning	71

Inledning.

Bland de regelbundet skiktade sedimenten har den varviga glacialleran tilldragit sig stort intresse. A. G. Högbom och G. De Geer ha visat att periodiciteten i avsättningen säkerligen är betingad av de årliga växlingarna i sedimentationsmiljön, vilket medför möjligheten att använda lervarven såsom hjälpmedel vid tidsbestämning. Denna möjlighet har också i stor omfattning utnyttjats av De Geer och hans lärjungar. Trots den stora betydelse som varvighetsföreteelsen sålunda fått i geokronologiens tjänst är kännedomen om dess karaktär och orsaker mycket begränsad. Högboms (1889) sannolikhetsbevis för att ett mörkt och ett ljus skikt tillsammans utgöra ett årsvarv baserar sig icke direkt på undersökning av färgvariationerna utan på karbonatfördelningen i en speciell, kalkrik typ av glaciallera, nämligen uppsalatraktens varviga mærgel. Den därpå följande slutledningen för det allmänna fallet lyder på följande vis:

1. *Varvmærgelns* kalkhaltsväxlingar äro med stor sannolikhet årsperiodiska.
2. Den översta, kalkfattiga delen av varje mærgelvarv är mörkfärgad, men mörkfärgningen sammanhänges icke direkt med kalkhalten.
3. Samma periodiska färgning uppträder ofta även i *karbonatfria glacialleror*.
4. Eftersom färgvariationen säkerligen är årsperiodisk i varvmærgeln bör den vara det även i kalkfria leror, i vilka således ett mörkt och ett ljus skikt tillsammans böra utgöra ett årsvarv.

Högbom påpekar att hans undersökning icke ger någon upplysning om orsaken till vinterskiktens mörkfärgning. Olika författare ha senare framlagt teorier för förklaring av lerans svärtning såsom förorsakad av järnsulfid eller järn(2)oxid. (De Geer, Antevs.) Andra förslag ta sikte på förmodade skiljaktigheter i lerskiktens fysikaliska beskaffenhet, framför allt då kornstorleksvariationer, vilka i sin tur på känt sätt skulle influera på ljusabsorptionen (Sauramo). Experimentella bevis för de olika teoriernas riktighet saknas emellertid.

Avsikten med föreliggande arbete är att söka i någon mån klarlägga orsakerna till de för den glaciala varvigheten karakteristiska färgvariationerna. Såsom undersökningsmaterial föreföll det lämpligt att välja uppsalatraktens varviga mærgel, varigenom anslutning kunde vinnas till Högboms grundläggande arbeten. För att tillräckligt omfattande undersökningar skulle kunna

utföras på materialet, kunde detta icke göras alltför stort utan måste inskränkas till att i vertikalled omfatta ett relativt kort tidsavsnitt. Det må därför här betonas att de slutsatser, som dragas i det följande, i första hand gälla endast för uppsalatrakten och endast för det aktuella tidsavsnittet. I en del fall kunna de av resultaten betingade betraktelsesätten direkt utsträckas till att gälla även andra sedimentationsområden och andra tidsavsnitt. Innan glaciallerans generella bildningsbetingelser kunna anses klarlagda, fordras emellertid petrografiska undersökningar av regional karaktär.

Tidigare arbeten.

Här nedan lämnas en kort sammanfattning av de viktigare arbeten, som beröra glaciallerans sammansättning och uppkomst. Uppgifter om titlar och publikationer återfinnas i litteraturförteckningen, sid. 71.

- C. E. Bergstrand (1859). Redovisning av kalkhaltsvariationerna inom varven.
- A. Erdmann (1868). Stort antal kemiska analyser men stratigrafiska proveniensuppgifter lämnas ej för de undersökta proven.
- A. G. Högbom (1889, 1892). Diskussion av förhållandena kring den varviga märelns sedimentation och i synnerhet av kalkupplösningen. Se vidare ovan sidan 5.
- (1915). Fynd av djurspår i den varviga märeln.
- P. J. Holmquist (1898). Sekundär kalkutfällning i varvmäreln i samband med skred.
- C. P. Berkey (1905). Beskrivning av glacial varvlera från Wisconsin, där både kalk- och färgfördelning äro omvända i förhållande till motsvarande fördelning i varvlera av vanligen beskriven typ.
- S. Odén (1915, 1916). Studier framför allt över den mekaniska sammansättningen hos leror, varvid glacial varvlera i flera sammanhang upptages till behandling.
- M. Sauramo (1923). Kemiska och mekaniska undersökningar av varvseriernas olika partier i sydfinska leror.
- R. W. Sayles (1924). Diskussion av och översikt över kännedomen om förhållandena kring uppkomsten av glaciala varvsediment.
- E. Antevs (1925). Diskussion i synnerhet av de hydrografiska omständigheterna kring glaciallerans sedimentation. Påpekande av nödvändigheten att åtminstone för finleran antaga koagulation vid sedimentationen.
- O. Tamm (1925, 1928, 1929). Experimentella undersökningar angående upplösningsföreteelser i samband med nedmalning av bergarter. Med ledning av resultaten slutsatser angående glaciallerans bildningsbetingelser.
- E. Kindle (1927). Termalstratifieringens stora betydelse vid sedimentationen visas genom laboratorieförsök och genom fältiakttagelser i sjöar i norra Canada. Kalkupplösningens stora roll vid arktisk sedimentation samt dess beroende av kolsyreomsättningen understrykes.

- R. Wallace (1927). Kemiska analyser av sommar- och vintermaterial från samma varv. Även undersökningar av kornstorleksfördelningen i varvens övre och undre del. Dessa senare resultat äro emellertid vad beträffar fördelningen av finmjäla och lera diskutabla på grund av att Wallace använt sig av centrifugerings- och elutriationsmetodik. Inga uppgifter lämnas om sättet för materialets peptisation.
- H. J. Fraser (1927). Experimentella undersökningar av partiklars fallhastighet vid olika vattentemperaturer samt av koagulationens förlopp vid varierande koncentration av natriumklorid i vattnet. Tyvärr minskas resultatens värde väsentligen därigenom att författaren synes stå främmande för de fysikaliska fundamentallagar, som definiera de undersökta förhållandena samt för den betydelsefulla europeiska litteraturen på området.
- E. Ellsworth och W. Wilgus (1930). Kemiska och petrografiska jämförelser av olika delar av samma varv. Materialet utgöres av den ovan omtalade, av Berkey beskrivna varvleran från Wisconsin, vars inversa egenskaper gör det svårt att draga några generella slutsatser av författarnas resultat.
- S. Gripenberg (1934). Regional undersökning av norra Östersjöns sediment. Glaciallerans översta, tunnvarviga zon är representerad i materialet. Analyser av ett stort antal prov med avseende på bl. a. karbonat-, kol- och kvävehalt samt mekanisk sammansättning. Koagulationsförsök.
- N. Zenzén (1934) ger en historisk utredning av uppgifter om varvig lera i vår äldre litteratur.
- W. Tarr (1935). Kalciumkarbonatutfällning anses vara en medverkande faktor vid sedimentationsförloppet.
- S. Hansen (1940). Varvighetsföreteelsen i danska och skånska senglaciala sediment belyses genom stratigrafiska iakttagelser samt genom undersökning av sedimentets kalciumhalt, magnesiumhalt och mekaniska sammansättning.
- N. G. Hörner (1947) behandlar sedimentationsförhållandena vid den varviga märengels bildning från granulometrisk synpunkt i samband med ett fossilfynd i uppsalatraktens varvmärgel.

I den mån vederbörande författares resultat kunna anknytas till föreliggande problem, upptagas de i följande framställning till ytterligare diskussion i sina speciella sammanhang.

I. Materialet.

Struktur.

I varvig lera av normal utbildningstyp utgöres varje årsvarv av en undre, mäktigare, ljus del, som kontinuerligt övergår i en övre mörk, vilken i sin tur är skarpt avgränsad från det överlagrande varvet. I proximal facies ersättes leran i den ljusa varvdelen helt eller delvis av mjäla och sand eller ännu grövre material, medan i sediment av distal typ en kornstorleksskillnad mellan ljus och mörk *grundmassa* kan vara svår att spåra med blotta ögat. Över-

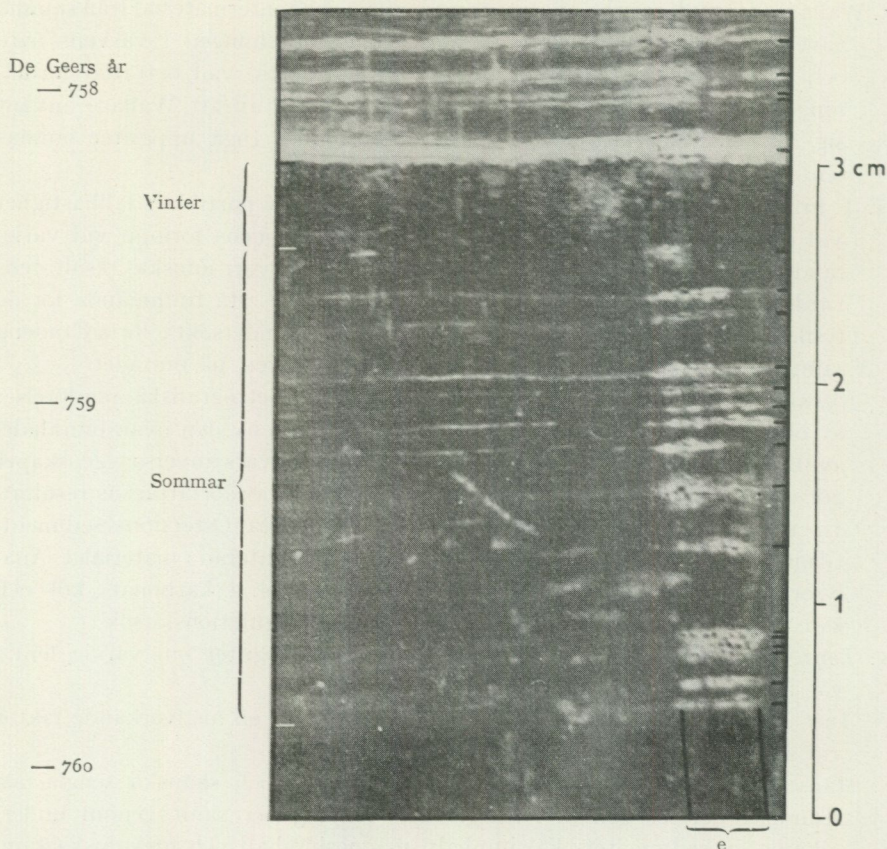


Fig. 1. Glycerinpreparerad varvmärgel med inlagrade mjälskikt (markerade med streck i högra bildkanten) i sommarsedimentet. Etsning med utsp. saltsyra efter randen e visar mjälans höga karbonathalt. Varvens vinterdelar innehålla inga kalkmjälskikt. Vintermaterialet är i naturfuktiga varv brunsvart—svart och sommarmaterialets grundmassa gråbrun—rödbrun, men denna utpräglade skillnad, som betingar varvstrukturen, försvinner till stor del vid glycerinprepareringen. Vinterskiktens, även i detta tillstånd mörkare färgton, kan emellertid väl urskiljas på figuren. Mjälskikten äro i färskt snitt av naturfuktig lera mycket svåra att iakttaga, men framträda tydligt i det avbildade preparatet.

gångszonen mellan dessa två utbildningstyper har relativt liten utsträckning i isrörelseriktningen. I det följande användes därför tills vidare beteckningen proximal för varv med för blotta ögat tydligt iakttagbar övergång från grövre till finare material i varvets grundmassa, medan uttrycket distal användes för varv, där ingen sådan skillnad är märkbar. Även om den inte ger hela förklaringen till varvstrukturen, är skillnaden i kornstorleksfördelning ett väsentligt karaktistikum för skillnaden mellan proximalvarvens olika delar. I distalvarven däremot är det inte möjligt att utan vidare konstatera, vad som orsakar övergången från ljust till mörkt sediment, trots att denna skiftning ofta är mycket starkt utpräglad. I de distala varven föreligger således den eller de faktorer, som orsaka färgväxlingen, i relativt ostörd form, varför just sådant material utvalts för föreliggande undersökning. Då vidare såväl upplösnings-

fenomen som färgväxling synas vara starkast utpräglade i karbonathaltig glaciallera, har materialet hämtats från lokaler i uppsalatrakten, där den bott-niska siluren givit upphov till ett starkt kalkhaltigt varvsediment. Som tidigare nämnts, vinnes genom detta val av arbetsmaterial även anslutning till Hög-boms undersökningar.

Vid granskning av materialet framgår att lervarven äro uppbyggda av ett flertal petrografiskt skiljaktiga komponenter. I de ljusa sommarskikten, vilka ur kornstorlekssynpunkt icke synbart avvika från vinterskikten, finnas ofta inlagrade uthålliga tunna, gråvita skikt av mjåla. Mjålan består till övervägande del av kalciumkarbonat. Kalkskiktens mäktighet (i ostörda varv, vilka äro de enda, som komma ifråga i detta sammanhang) varierar från partikeltjocklek upp till några millimeter. I synnerhet i varvens understa delar nå dessa skikt sin största mäktighet. I färskt snitt av den naturfuktiga leran kunna de ofta överhuvudtaget ej iakttagas, men de framträda tydligt då leran förlorat en del av sin fuktighet, då den impregnerats med glycerin eller glykol och framför allt vid etsning med syra (fig. 1). Vid torkning spricker leran gärna sönder efter mjålskiktplanen. Kalkskiktens antal i varje varv varierar avsevärt, från inga eller några få upp till ett hundratal. I det mörka vinterskiktet saknas de helt. De mäktigare mjålalagren visa sig ofta vid närmare granskning bestå av ett stort antal tunna skikt, växellagrande med lera. Förekomsten av mjålskikt är icke orsaken till färgväxlingen inom årsvarven, ehuru den ofta accentuerar bandstrukturen, i synnerhet i torkade varv. Ler-komponenten i de undre varvdelarna har, vare sig den växellagrar med den gråvita mjålan eller förekommer ensam, en helt annan och ljusare färgton (gråbrun—rödbrun) än vinterleran (brunsvart—svart). Då således kalkskikten utgöra en komplikation vid jämförande undersökning av kornstorleksfördel-ningen inom varven, har för detta ändamål valts även sådana varv, där mjå-linlagringar saknas. Kalkskikten ha gjorts till föremål för en granulometrisk undersökning av Hörner (se vidare sid. 29).

Den tredje komponenten i glacialleran består av osorterad sand och grus, utstrött i synnerhet i det mörka skiktet och på dess övre yta. Redan Erdmann framhöll sannolikheten av att det här rör sig om isbergstransporterat material. (Jfr även Norin sid. 76.)

Proveniens och preparering.

Hela undersökningsmaterialet härrör från nivåer belägna under grund-vattenytan. Vid Vaksala tegelbruk inom Uppsala stad upptogs under en ny-ligen blottad del av lertagets botten en 36 cm lång provpelare innehållande tretton varv, motsvarande De Geers år —769 till —757. Vid Eriksberg i Gamla Uppsala upptogs från 2,5 m djup under markytan ett större prov, innehållande omkring 3 kg av varvet —783. Slutligen utfördes vid Brillinge i Vaksala socken provtagning med kolvborr av Statens Geotekniska Instituts modell på var femtionde centimeter ned till nio meters djup och ur provmaterialet uttogs några lämpliga varv för undersökning. Borrmotodiken medgav icke

dessa varvs inplacering i De Geers tidsskala med större noggrannhet än på c:a 20 år när. De härröra från tiden mellan —815 och —790.

Lokalernas ungefärliga avstånd till isranden vid tiden för sedimentationen var enligt De Geers karta över isrecessionen (1940, pl. 68) för varvet —810 20 km och för varvet —759 34 km.

Prov, avsedda för kornstorleksundersökning uttogos ur den övre hälften av vederbörande varvs mörka skikt, samt ur den understa fjärdedelen av det ljusa skiktet. För ändamålet valdes, som tidigare nämnts dels varv med, dels varv utan skikt av kalkmjäla. Proven förvarades i naturfuktigt tillstånd vilket underlättade dispergeringen. I det material, som avsågs för kemisk analys snittades varven parallellt med skiktplanen i 3—5 mm tjocka skivor, varvid de tunnare snitten lades i den mörka varv delen. Intet av varven understeg 2 cm i mäktighet. Proven lufttorkades vid rumstemperatur och trycktes sönder i mortel.

Den relativt stora provmängden av varvet —783 möjliggjorde en slamning av sommar- och vintersedimentet och därigenom en uppdelning av proven i tre fraktioner, en med partikeldiametrar $> 5 \mu$, en med kornstorleksgränserna 5μ och $1,5 \mu$ och en slutligen bestående av partiklar $< 1,5 \mu$.

För bestämning av redoxpotentialen in situ förvarades en pelare av varvet —783 med hängande och liggande, i fuktigt tillstånd och lufttätt innesluten, till dess att mätningen kunde äga rum.

Undersökningens syften har gjort det önskvärt att materialet består av distala varv med hög karbonathalt. De undersökta varven äro i huvudsak uppbyggda av följande komponenter:

1. Lera a) underst ljus, rödbrun—gråbrun, b) överst mörk, gråbrun—gråsvart.
2. Mjäla, till stor del bestående av kalciumkarbonat, uppträdande skiktvis i den ljusa (undre) delen av varvet. Kalkskiktens antal och mäktighet varierar starkt i varvseriernas olika zoner.
3. Isbergtransporterat material, mest frekvent i vinterskiktet.

Färgväxlingarna i lerkomponenten är den främsta orsaken till den undersökta distallerans i färskt snitt iakttagbara varvstruktur. Föreliggande arbete syftar att bidra till kännedomen om färgväxlingarnas orsaker.

II. Sedimentets karbonathalt.

Förutsättningar.

Högboms arbeten över karbonatfördelningen i lervarven gåvo i huvudsak följande resultat:

1. De mörka skikten äro kalkfattigare än de ljusa.
2. De mörka skikten äro magnesiumrikare än de ljusa.
3. Skillnaden mellan maximi- och minimihalt av kalk i ett och samma varv är omvänt proportionell mot varvmäktigheten.
4. Sedimentets kalkhalt avtar med ökat avstånd från isranden.

Högbom drar härav den slutsatsen att ishavsvattnets kolsyra upplöst en del av det i vattnet dispergerade kalkslammet, varigenom den svårlösligare dolomiten anrikats. Kvoten Mg/Ca ger sålunda ett uttryck för utlösningens graden och står i direkt proportion till denna. Då vidare kalciumjonmätning inte så snart uppnås och utlösningen därför blir fullständigare ju mindre materialmängd som finnes per volymsenhet lösningsmedel, böra sedimentpartier med låg kalkhalt antyda liten slamföring i vattnet, medan hög kalkhalt vittnar om riklig tillförsel av isälvs-material. Eftersom knappast någon annan period än året uppvisar så stora variationer i vattnets partikelhalt som kalkutlösningen antyder, anser Högbom härmed vara bevisat, att märgelvarven äro årsvarv.

Metodik.

Då det i förevarande fall gällde att undersöka ett stort antal prov med stor inbördes variation i karbonathalten, och fördelningsbilden inte ansågs kräva stor noggrannhet i den enskilda analysen, valdes i överensstämmelse härmed en modifikation av Scheiblers analysmetod.

Totala karbonatmängden i provet fastställdes genom volumetrisk bestämning av den utvecklade koldioxiden efter det att provet behandlats med klorvätesyra. Gasutvecklingsapparaten kommunicerade med en byrett, i vilken den utvecklade koldioxiden uppsamlades över en koncentrerad lösning av NaCl. Gasvolymen avlästes vid atmosfärtryck. Då proven ej innehöllo bestämbara mängder svaveljárn, behövde inga åtgärder vidtagas för att hindra svavelväteutveckling.

Metoden ger ej noggrannare resultat än $\pm 0,5$ %, vilket emellertid är väl tillfyllest i detta fall. Den utvecklade koldioxiden motsvarar totala karbonatmängden i provet men har av praktiska skäl redovisats såsom kalciumkarbonat utom i de särskilt anmärkta fall, då även magnesiumhalten bestämts.

Magnesium bestämdes genom fällning med (8)hydroxychinolin i starkt alkalisk lösning enligt Berg, Hahn, Vieweg, m. fl. hos Kolthoff och Sandell. Fällningen torkades vid 105° C.

Resultat.

Analysvärdena för kalciumkarbonat ha framlagts i tab. 1, 2 och 3 samt i form av diagram i fig. 2 och 3. Resultaten ansluta sig väl till Högboms. Alla undersökta varv visa en starkt minskad karbonathalt i det mörka skiktet (tab. 2). I medeltal utgör dettas karbonathalt 18 % av varvets högsta uppmätta halt i varvserien från Vaksala tegelbruk. Motsvarande minimivärde är 3 % (DG år —768) och maximivärdet 46 % (DG år —765). I de fall där det redovisade förhållandet mellan vinter- och sommarskiktets karbonathalt är högt, kan detta bero på preparationsmetodiken, om nämligen vinterskiktet är tunnare än motsvarande provskiva. Så är synbarligen fallet i varvet —769 med endast halvannan millimeter tjockt vinterskikt. Detta varv har därför utslutits ur den i tab. 2 angivna medeltalsberäkningen, liksom även varvet

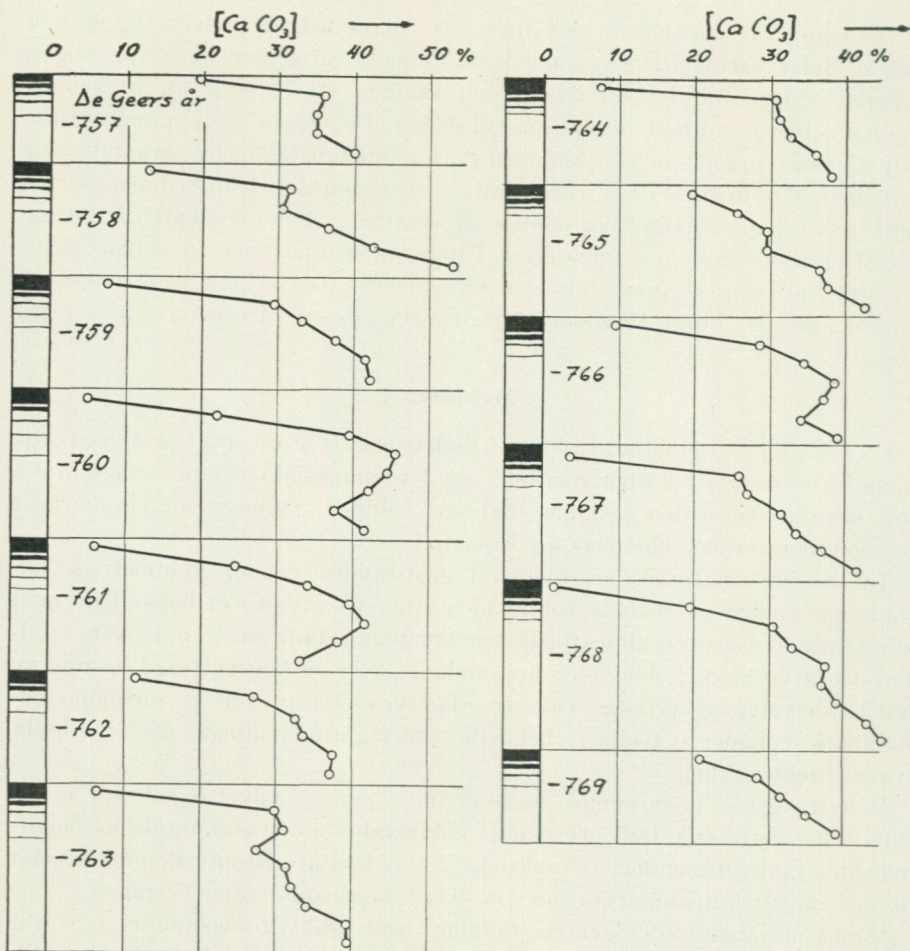


Fig. 2. Karbonatfördelningen i några märgelvarv. Variationerna framkallas av ändringar i det kolsyrehaltiga vattnets förmåga att upplösa kalk, och kalkhalten torde vara proportionell mot sedimentationsintensiteten. Under den varma årstiden då nämligen slammängden per volymenhet vatten är stor, stiger vattnets kalciumjonkoncentration snabbt, vilket medför att upplösnings-hastigheten för de kvarvarande uppslammade kalkpartiklarna sjunker i motsvarande grad. Vinter-tid är slamföringen relativt liten och vattnets kalkundermätning och därmed dess aggressivitet är hög.

Liksom i följande diagram markeras felets storlek av koordinatcirkelnas dimensioner.

—757, som är ofullständigt. Att utlösningensgraden i vinterskiktet kan variera kraftigt, framgår emellertid vid jämförelse mellan exempelvis varven —758, —760, —761, —762 och —768, vilka alla ha 3 mm tjocka vinterskikt.

Kalkens fördelning på olika kornstorleksgrupper visas i tab. 3 och fig. 3. Därav framgår att i varvet —783 kalkhalten är högst i mellanfraktionen (1,5—5 μ) och lägst i finfraktionen (< 1,5 μ).

Den höga koncentrationen av kalciumkarbonat i mellanfraktionen torde bero på den omständigheten att kalken vid bergarternas nedkrossning under

Tab. 1.

Fördelningen av karbonater, redovisade som CaCO_3 samt av mangan inom varven. Lägsta provnummer motsvara varvens vinterskikt. Manganvärdena gälla i 2 N HNO_3 lösliga resp. olösliga mängder. Korrigerade värden (kolumn 6) hänföra sig till halten omräknad för karbonatfri substans.

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Varv DG år	Prov nr	CaCO_3 % \pm 0,5	Mn lösl % \pm 0,002	Mn olösl % \pm 0,003	Mn olösl % korr	Varv DG år	Prov nr	CaCO_3 % \pm 0,5	Mn lösl % \pm 0,002	Mn olösl % \pm 0,003	Mn olösl % korr
-757	2	19,5	0,028	0,042	0,052	-762	1	11,5	0,028	0,044	0,050
	3	36	35	35	54		2	27	25	47	64
	4	35	35	35	54		3	32,5	28	32	47
	5	35	35	35	54		4	33,5	28	44	66
	6	40	36	34	57		5	37,5	35	25	40
							6	37	35	37	59
-758	1	13	0,036	0,039	0,045	-763	1	6,5	0,024	0,056	0,060
	2	31,5	30	40	58		2	30	25	35	50
	3	30,5	32	43	62		3	31	25	35	51
	4	36,5	35	35	55		4	27,5	25	43	59
	5	42,5	38	37	64		5	31,5	28	36	53
	6	53	40	30	64		6	32	30	38	56
-759	1	7,5	0,035	0,045	0,049	-764	7	34	40	32	48
	2	29,5	28	42	59		8	39,5	40	20	33
	3	33	32	43	64		9	39,5	38	30	50
	4	37,5	35	35	56		1	7,5	0,025	0,063	0,068
	5	41,5	38	32	55		2	30,5	28	32	46
	6	42	35	25	43		3	31	28	32	46
-760	1	5	0,030	0,045	0,047	-765	4	32,5	30	38	56
	2	22	25	35	45		5	36	30	42	66
	3	39,5	25	35	58		6	38	35	25	40
	4	45,5	30	30	55		1	19,5	0,025	0,047	0,058
	5	44,5	30	30	54		2	25,5	25	43	58
	6	42	30	30	52		3	27	26	46	63
	7	37,5	35	30	48		4	27	30	42	57
	8	41,5	35	25	43		5	36,5	32	48	75
-761	1	6	0,030	0,050	0,053	-766	6	37,5	38	30	48
	2	24,5	30	35	46		7	42,5	40	32	56
	3	34	30	30	45		1	9,5	0,025	0,055	0,061
	4	39,5	30	30	49		2	28,5	27	41	57
	5	41,5	30	40	68		3	34,5	28	36	55
	6	38	30	35	56		4	38,5	30	38	62
	7	33	30	50	74		5	37	34	38	60

	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
-767		1	3,5	0,022	0,078	0,081			1	21	0,022	0,070	0,088	
		2	26	25	43	58			2	28,5	25	55	77	
		3	27	28	60	82	-769		3	31,5	29	55	80	
		4	31,5	29	57	83			4	35	34	42	65	
		5	33,5	35	51	77			5	39	36	36	59	
		6	37	37	55	87								
		7	41,5	40	32	55			1	19,5	0,023	0,067		
-768		1	1,5	0,022	0,078	0,079			2	30	25	55		
		2	19,5	25	55	68	-783		3	29	25	55		
		3	30,5	28	44	63			4	30	25	45		
		4	33	29	47	70			5	34,5	25	75		
		5	37,5	29	35	56			6	36,5	29	51		
		6	37	30	42	67			7	36	29	46		
		7	39	30	34	56								
		8	43	32	42	74								
		9	45	35	45	82								

Tab. 2.

Skiktmäktigheter samt variationer i kalkhalten inom de undersökta varven. Varvet -757 är ofullständigt.

Varv DG år	Total mäktighet cm \pm 0,03	Vinterskiktets mäktighet cm \pm 0,05	[CaCO ₃] _{min} % \pm 0,5	[CaCO ₃] _{max} % \pm 0,5	Minimivärdet i % av max.-värdet
-757.....	> 1,9	—	19,5	40	(49)
-758.....	2,55	0,3	13	53	25
-759.....	2,45	0,4	7,5	42	18
-760.....	3,40	0,3	4,8	45	11
-761.....	2,85	0,3	6	41,5	14
-762.....	2,30	0,3	11,5	37,5	31
-763.....	3,55	0,35	6,5	39,5	16
-764.....	2,50	0,2	7,5	38	20
-765.....	2,80	0,2	19,5	42,5	46
-766.....	2,80	0,2	9,5	39	24
-767.....	2,95	0,4	3,5	41,5	8
-768.....	3,60	0,3	1,5	45	3
-769.....	2,00	0,1	21	39	(54)
Medelvärde					18 \pm 2,5
-783.....	3,70	0,3	19,7	36,4	53

istrycket med förkärlek placera sig i mjälafractionen (jfr Lundqvist). Särskilt finfraktionen av vintersedimentet kännetecknas av kalkfattigdom. Att denna orsakas av upplösning och ej av den ursprungliga fördelningen bekräftas av ökningen i finfraktionen av kvoten Mg/Ca (sid. 22, tab. 4, fig. 4 och 5).

Tab. 3.

Kalkens fördelning på olika fraktioner av varvet —783.

Korndiameter inom fraktionen μ	[CaCO ₃] % \pm 0,5 vinter	[CaCO ₃] % \pm 0,5 sommar
> 5	22,9	28,5
5—1,5	36,1	45,0
< 1,5	8,0	21,4

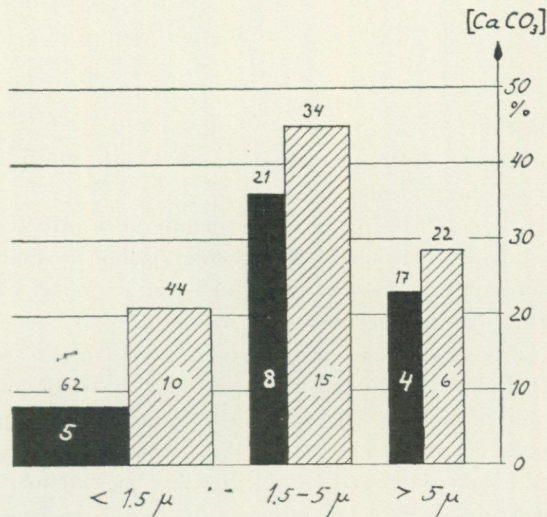


Fig. 3. Karbonaternas fördelning på olika fraktioner av sommarmaterial (streckade fält) och vintermaterial ur varvet —783. Rektanglarnas höjd motsvarar fraktionsprovets karbonathalt. Deras bredd svarar mot fraktionernas procentuella andel av totalprovot (siffrorna ovanför figurerna). Rektanglarnas ytor betyda sålunda karbonatmängden i vederbörande fraktion uttryckt i procent av totalprovot. Rektanglarnas höjd är det argument, som framför allt har betydelse i föreliggande sammanhang.

Alla fraktioner av vintersedimentet äro karbonatfattigare än motsvarande fraktioner ur sommarskiktet. Den kraftigaste skillnaden mellan sommar- och vinterkalkhalt föreligger i finfraktionen. Den höga kalkhalten i mellanfraktionen är en nedkrossningsföreteelse och torde sålunda karakterisera även modernmoränen.

Lagar för den enskilda partikelns upplösning.

För förståelsen av den selektiva upplösningen av glaciallerans kalkpartiklar är det lämpligt att sätta lagarna för reaktionshastigheten i heterogena system i samband med de aktuella sedimentationsförhållandena.

Enligt Noyes och Whithney uppstår, då ett fast ämne dispergeras i ett lösningsmedel, i gränsskiktet mellan den fasta och flytande fasen ett adhesions-skikt, bestående av en mättad lösning av ämnet i fråga. Den hastighet, dy/dt , med vilken upplösningen fortgår, är proportionell mot ytan Y , koncentrationsfallet mellan gränsskikt och lösningsmedel, $C-c$, adhesions-skiktets tjocklek ρ och storleken av diffusionskonstanten D . Om således C är koncentrationen i gränsskiktet och c är koncentrationen i lösningsmedlet, är

$$\frac{dy}{dt} = Y \cdot \frac{D}{g} (C-c) \dots\dots\dots (1)$$

I det här aktuella fallet är D = diffusionskonstanten för Ca^{2+} , c är kalciumjonens koncentration i vattnet och C dess mättningskoncentration vid ifrågasvarande ytspanning hos kalciten, koldioxidtryck och vattentemperatur. Y definieras som den släta partikelytan och påverkas icke av ytans under upplösningen varierande mikrostruktur. Den absoluta ytans kraftiga ökning genom etsning torde således icke ha någon direkt betydelse för upplösningshastigheten.

Likheten (1) kan även skrivas

$$\frac{dy}{dt} = q_1 \cdot r^2 \cdot \frac{D}{g} (C-c) \dots\dots\dots (1 a)$$

där q_1 är en konstant.

Upplösningshastigheten avtager således med kvadraten på partikelradien och minskas därför snabbt med tiden.

Upplösningen påbörjas, då partikeln suspenderas i isälvsvattnet, i vilket ögonblick tidsavsnittet t_1 antages börja. Under isälvstransporten bestämes partikelns bana av smältvattnets kraftigt turbulenta rörelser i jökälvtunneln och någon sortering av finmaterialet efter kornstorlek sker icke. Då partikeln förts ut i havet, ombesörjes dess vidaretransport av den från iskanten riktade strömmen, vars turbulens snabbt torde avtaga med ökat avstånd från iskanten. Då turbulensen blivit så liten att den kan försummas, vidtager tidsavsnittet t_2 . Partikelns nedåtriktade rörelse i tyngdkraftfältet retarderas nu endast av mediets motstånd. Då partikeln kommit till vila på botten, påbörjas tidsavsnittet t_3 , som är avslutat, då partikeln inbäddats i sedimentet. Samtidigt avslutas kalkupplösningen, som sålunda pågått under tidrymden $t_1 + t_2 + t_3$. Vi vilja nu tills vidare antaga, att tidrymderna t_1 och t_3 äro till sin storlek försumbara i jämförelse med t_2 och att kalkupplösningen således sker under ostörd sedimentation i tyngdkraftfältet.

Om h är fallhöjden och endast de partiklar tagas i betraktande vilkas fallrörelse följer Stokes lag (5) (sid. 30), erhålles ur (7) (sid. 31).

$$t = q_4^2 \cdot \frac{h}{r^2}$$

och om h sättes konstant

$$t = q_5 \cdot \frac{1}{r^2} \dots\dots\dots (7 a)$$

där r är partikelns ekvivalentradie samt q_4 och q_5 konstanter.

När partikelytan på grund av upplösning minskar, kommer den till buds stående utlösningstiden således att i motsvarande grad öka, i det att partikelns fallhastighet avtager. Minskningen av den hastighet, varmed ett kalcitkorn upplöses under sedimentationen, kompenseras sålunda av upplösningstidens motsvarande ökning. Med andra ord, om två olika stora kalcitkorn falla lika lång väg genom kolsyrehaltigt vatten, skulle med hänsyn härtill av bägge kornen lika stora viktmängder upplösas.

Detta sker under förutsättning att ϑ icke varierar med kornstorleken. Så är emellertid fallet, i det att adhesionsskiktets tjocklek avtager, då partikelns hastighet relativt lösningsmedlet ökar. Av två olikstora partiklar under fritt fall genom ett lösningsmedel har således den större ett tunnare adhesionsskikt än den mindre. Den per tidsenhet upplösta mängden blir därför störst för den grövre partikeln. De exakta lagarna för denna företeelse äro icke kända, men enligt Nernst kan sambandet mellan adhesionsskiktets tjocklek och strömningshastigheten uttryckas genom interpolationsformeln

$$\vartheta = \frac{q_2}{\varphi^n} \dots\dots\dots (2)$$

där q_2 och n äro konstanter. Enligt Mecklenburg kan n variera mellan 0,5 och 1 men antager i de allra flesta fall värden omkring 0,5. Detta närmevärde torde därför här kunna användas, ehuru med reservation.

Adhesionsskiktets tjocklek skulle således vara omvänt proportionellt mot kvadratroten ur partikelns fallhastighet, d. v. s. mot partikelns radie. Ur (1 a) erhålles därför

$$\frac{dy}{dt} = q_3 \cdot r^2 \frac{D}{r} (C-c)$$

$$\frac{dy}{dt} = q_3 \cdot r^3 \cdot D (C-c) \dots\dots\dots (3)$$

Under ovan angivna förhållanden verkar tydligen upplösningen kraftigare på en stor partikel än på en liten, så att den absoluta mängden under sedimentationen upplöst material hos ett korn blir direkt proportionellt mot partikelradien. Kalciumjonens mättningskoncentration, C , är framför allt beroende av kolsyretryck och temperatur och torde liksom dessa icke vara utsatt för några avsevärda årsvariationer i den här aktuella sedimentationsmiljön.¹ C betraktas således här tillsvidare (se vidare s. 18 ff.) såsom konstant. Vattnets kalciumjonhalt c är tydligen ett uttryck för kalkmättningsgraden och kan antaga alla värden mellan 0 och C . Då c går mot C går upplösningshastigheten mot 0.

Den kraftigare upplösningen i vintersedimentet bör således bero på en starkare kalkundermättnings i vattnet under vintern än under sommaren, förutsatt att sommar- och vintersedimenten äro ungefärligen överensstämmande med avseende på kornstorleksfördelning. Skulle sommarmaterialet vara avsevärt grövre än vintermaterialet såsom fallet är i mer proximala varv, bidrar detta till att öka kalkhaltskontrasterna inom varvet på sätt, som visas i det följande. Kalkmättningsgraden i sommarvattnet beror säkerligen, som Högbom velat hävda, på den rikligare tillförseln av glacifluvialt kalkslam under den varma årstiden. Med utgångspunkt från att sommarskikten äro omkring 10 gånger mäktigare än vinterskikten och kunna antagas ha avsatts under en

¹ I det fall att skillnaderna mellan sommar- och vintertemperatur i issjövattnet skulle vara att räkna med i detta sammanhang, bidra de till att öka kalkmättningsgraden under den varma årstiden.

minst hälften och högst dubbelt så lång tid som dessa senare kan sedimentationsintensiteten sommartid skattas till mellan fem och tjugo gånger samma intensitet vintertid.

Under ovan genomförda resonemang har bortsetts från det inflytande på upplösningshastigheten, som utövas av koncentrationen i vattnet av andra jon- och molekyllag än de, som ingå i systemet kalciumkarbonat-kolsyra. Havssalternas inverkan härvidlag torde vara de bäst kända (Wattenberg, Buch), men sakna betydelse i detta sammanhang. Det förtjänar emellertid här anmärkas att en ökning av vattnets salthalt nedsätter kalklösligheten.

Noyes-Whitneys lag förutsätter att upplösningen i fasgränsytan sker med stor hastighet i jämförelse med diffusionsförloppet. Att så ej är fallet vid kalcitens upplösning antydes av Bäckströms resultat (sid. 210). Sin största relativa betydelse får det härav förorsakade felet, då kalcitkroppen rör sig mycket hastigt relativt kolsyrelösningen, d. v. s. här vid fritt fall hos särskilt stora partiklar. Förhållandena härvidlag ha veterligen ej blivit kvantitativt undersökta.

För giltigheten av Noyes-Whitneys lag fordras även att upplösning och diffusion försiggå efter normalen mot partikelytan. Detta krav kan anses vara tillgodosett, om r är stor i förhållande till ϑ . Om emellertid partikelradien är liten och följaktligen ytans krökning stor, kommer ytspänningen och därmed lösligheten att märkbart öka, om radien minskar. Sambandet påvisades först av Thomson 1881 för vätskedroppars avdunstning. Ostwald härledde 1900 en motsvarande formel för systemet fast—flytande. Ostwalds samband modifierades 1909 av Freundlich, vars formel gavs en allmängiltigare lydelse av Dundon och Mack 1923. I denna senare utformning lyder den

$$(1 - a + n a) \frac{RT}{M} \ln \frac{S_2}{S_1} = \frac{4\sigma}{\rho} \left(\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) \dots \dots \dots (4)$$

där a = dissociationsgraden, n = antalet joner, som bildas av en molekyl, R = gaskonstanten, T = absoluta temperaturen, M = lösningsmedlets molekylvikt, S_1 och S_2 = lösligheten av partiklarna med diametrarna d_1 och d_2 , σ = ytspänningen och ρ = partiklarnas specifika vikt.

Om d_1 är diametern hos en partikel så stor att dess löslighet S_1 = lösligheten S_∞ hos en plan yta, och om a i detta fall sättes = 1, kan (4) skrivas

$$n \cdot \frac{RT}{M} \ln \frac{S_2}{S_\infty} = \frac{4\sigma}{\rho d_2} \dots \dots \dots (4 a)$$

Under en viss kornstorleksgräns ökar sålunda lösligheten kraftigt. Denna gräns har av Hulett empiriskt visats ligga vid $1,8 \mu$ för bariumsulfat och vid $1,9 \mu$ för gips. Enligt Bäckström är motsvarande värde för kalcit av samma storleksordning. För partiklar med en slutlig diameter $> 2 \mu$ behöver således i praktiken ingen hänsyn tagas till ytspänningens ökning.

I samma mån som lösligheten på ovan berört sätt ökar, stiger värdet för C i (1) och (3) och därmed skillnaden $(C-c)$ d. v. s. diffusionspotentialen. Samtidigt med lösligheten tilltager således även upplösningshastigheten dy/dt med avtagande kornstorlek. Vid en så lång medelfallväg som den här aktuella (förmodligen > 50 m) torde därför för kalkpartiklar med diameter mindre än $1,5-2 \mu$ upplösningen bliva total under förutsättning att partiklarna sedi-

menterat självständigt, men däremot icke nödvändigtvis om de fallit i koagulerat tillstånd. Av tab. 3 framgår att totalupplösning icke skett i den fraktion av varvet —783, vars korndiametrar äro mindre än $1,5 \mu$. Dessa resultat antyda således att utflockning varit verksam vid varvmärgelns sedimentation.

Beilby har visat att ytutjämnning vid polering icke åstadkommes genom abrasion utan genom utbildning av en tunn, glasaktig, amorf hinna över det fasta ämnets yta. Denna hinna bildas genom nedbrytning av rymdgittret, så att atomerna i ytskiktet bli slumpmässigt anordnade. I kalcit är enligt Beilby tjockleken av det helt amorfa skiktet omkring 50 Å men gitterstörningar göra sig gällande ända ned till ett djup av 10 000 Å. Detta beilbyskikt har egenskaper, som starkt avvika från motsvarande karakteristika i den kristallina delen av ämnet. Det är sålunda hårdare och har ofta en väsentligt högre löslighet. Adam framhåller, att ett beilbyskikt alltid utbildas vid finmalning av partiklar. Den starkt ökade lösligheten i moränens lerfraktion måste sålunda tillskrivas dels ytspänningsökningen, dels beilbyomvandlingen, som metamorfoserar en stor del av det enskilda kornets massa.

Lagar för kornfraktionernas upplösning.

Hittills ha berörts de lagar, som gälla för upplösningen av en enstaka kalcitpartikel vid sedimentation i kolsyrehaltigt vatten under vissa ideala förhållanden. För att skapa en förenklad bild av utlösingsförhållandena vid avsättningen av det osorterade sediment, som undersökningen berör, antaga vi en viktmängd a av sfäriska kalcitkorn med radien r ($r > 1 \mu$) samt en lika stor viktmängd korn med radien $n \cdot r$, samtliga totaldispergerade i kolsyrehaltigt vatten. I det ögonblick då upplösningen börjar, befinna sig alla partiklar på samma vertikalavstånd till botten, där lösningshastigheten antages vara = 0. Vattnets volym göres så stor att varje kalkpartikel faller genom en vätskepelare i vilken inga kalciumjoner finnas, d. v. s. $c = 0$. Härvid gäller

	Fraktion I	Fraktion II
1. Kalcitens totalvikt	a	a
2. Kornradie	r	$n \cdot r$
3. Kornyta	$q_y \cdot r^2$	$q_y \cdot n^2 \cdot r^2$
4. Kornvikt	$q_v \cdot r^3$	$q_v \cdot n^3 \cdot r^3$
5. Antal korn	$\frac{a}{q_v \cdot r^3}$	$\frac{a}{q_v \cdot n^3 \cdot r^3}$
6. Antal korn i fraktion I: antal korn i fraktion II		n^3
7. Utlöst viktmängd per korn	b	$b \cdot n$
8. Utlöst viktmängd av fraktionen	$\frac{a \cdot b}{q_v \cdot r^3}$	$\frac{a \cdot b}{q_v \cdot n^2 \cdot r^3}$
9. Utlöst viktmängd av fraktion I: utlöst viktmängd av fraktion II		n^2

Låt oss i enlighet härmed antaga ett kalkpulver, till 50 viktsprocent bestående av partiklar med radien 1μ och i övrigt bestående av partiklar med radien 20μ . Om de stora kornens antal är 10, finnas 80 000 fina korn i provet.

Behandlas detta med kolsyrehaltigt vatten under ovan angivna omständigheter så länge att en viktsenhet av grovfraktionen blivit upplöst, så har vid samma tidpunkt 400 viktsenheter av finfraktionen gått i lösning. Med utgångspunkt härifrån är det intressant att se hur karbonatutlösningen i glaciallerans finfraktioner i verkligheten förhåller sig till utlösningen i grovfraktionerna.

Upplösningslagarnas tillämpning på det allmänna fallet.

Innan de härledda sambandens giltighet för det föreliggande materialet prövas, är det lämpligt att undersöka i vad mån de antaganden, som gjorts vid den teoretiska utredningen av upplösningsförloppet, motsvara de verkliga förhållandena.

Antaganden beträffande upplösningstiden: (sid. 16)

a) Tiden för en partikels isälvstransport är liten i förhållande till sedimentationstiden.

Enligt tab. 3 och fig. 3 har kalkhalten ett maximum i kornstorleksområdet $1,5-5 \mu$. En calcitpartikel med $3,5 \mu$ såsom medelvärde för diametern under upplösningsförloppet kan därför anses representativ i detta sammanhang. Med en strömningshastighet hos jökälälven på 5 m/sek och en transportsträcka på 100 km blir transporttiden c:a 5 timmar, Partikelns fallhastighet i nollgradigt vatten är vid pass 1 cm/26 min. eller 100 m på c:a 180 dygn. Den aktuella transporttiden utgör här tydligen 0,1 % av falltiden och kan försummas förutsatt att turbulensen praktiskt taget upphör på kort avstånd från iskanten.

Om man tar speciell hänsyn till de större partiklarna, framgår av tidigare resonemang, att de grövre calcitkornen vid vattentransport icke kunna undandraga sig den kraftigare utlösningen genom att snabbare försvinna ur lösningsmedlet. På grund av sin större massa ha de större tröghet än de små kornen och erhålla därigenom större hastighet relativt det strömmande smältvattnet vid de ständigt återkommande förändringarna i dettas rörelsetillstånd. Adhensionskiktets förtunning vid ökande partikelstorlek är därför en omständighet, som gör sig gällande även vid vattentransport och upplösningshastigheten hos grova korn stiger med kuben på radien, d. v. s. direkt proportionellt mot volymen. Resultatet blir, eftersom antalet korn per viktsmängd calcit är omvänt proportionellt mot kornvolymen, att upplösningen i procent av materialets utgångsvikt är lika stor i varje fraktion. Sambandet gäller endast inom vissa kornstorleksgränser, av vilka den nedre bestämmes av ytspänningens kraftiga ökning strax under 2μ (sid. 18 ff.). Den övre gränsen betingas av att den på sid. 18 omnämnda, av Bäckström påvisade effekten blir alltmera märkbar vid ökande fallhastighet hos partiklarna.

b) Den mängd kalk, som upplöses sedan en partikel kommit till vila på botten, är liten i förhållande till den mängd, som upplöses under sedimentationen.

Under sedimentationen har varje kalkpartikel på alla sidor omgivits av lösningsmedlet och genom fallrörelsen samt strömningar i vattnet har adhesions-

skiktets tjocklek hållits under en viss gräns. Då partikeln kommit till vila, upphör kalciumjondiffusionen nedåt (n. b. om liggandet innehåller kalk eller liggandepartiklarnas hydrationsvatten är kalciumjonmättat). Adhensions-skiktets tjocklek växer och diffusionshastigheten i sidled och uppåt avtar i proportion härtill. Mineralupplösningen torde kunna anses så gott som helt avslutad, då ett partikellager överskiktats av ett nytt lager.¹ Liksom under a kan här kalkpartiklar med en diameter av $3,5 \mu$ anses representativa vid exemplifiering. För enkelhetens skull antagas partiklarna vara sfäriska. Kornens vattenhöljen kunna i detta sammanhang försummas, eftersom den exemplifierande kornstorleken ligger nära gränsvärdet mellan friktions- och kohesionsjordarter, 10μ (Brenner), emedan leran i detta fall är kalciummättad samt emedan sedimentet före mätningen av varv- och skiktmäktigheter varit utsatt för högt tryck under lång tid. Ett antal skikt, n , av nämnda partiklar i tätaste kulpackning² ha totalmäktigheten $\frac{3,5 \cdot n \sqrt{3}}{2} \mu = 3,0 \cdot n \mu$. För vinterskikten

sättes $0,3$ cm och för sommarskikten $2,5$ cm som medelmäktighet. Vidare skattas sedimentationstiderna för vinter- och sommarskikt till 8 resp. 4 månader. Antalet elementarskikt blir då 1000 resp. 8300 och den tid som förflyter, innan ett sådant skikt täckes av ett nytt, uppgår under vintern till ungefär 6 timmar och under sommaren till omkring 20 minuter. Dessa tider motsvara $0,09\%$ resp. $0,005\%$ av falltiden. Antagandet att kalkutlösningen efter sedimentationsögonblicket kan försummas är sålunda berättigat. De beräknade värdena för överskiktningstiden äro dessutom säkerligen högre än de verkliga medelvärdena, eftersom i 8 undersökta lerprov från 4 varv medelkornstorleken varierade mellan $0,8$ och $1,9 \mu$ och i medeltal var $1,3 \mu$ (tab. 5).

Antagandet beträffande partiklarnas självständighet vid sedimentationen (sid. 15 och 19).

Detta antagande förlorar sitt berättigande om utflockning gjort sig gällande vid sedimentets transport och avsättning. Under koagulation sedimenterar materialet helt eller delvis såsom flockar, alla av ungefär samma storleksordning och sammansatta av korn av vitt skilda dimensioner (Tuorila 1927, Gripenberg 1934). De fysikaliska lagarna för kalkutlösning under sådana förhållanden måste härledas ur eller bestyrkas av resultaten av empiriska undersökningar. Sådana ha veterligen ej utförts. Rent kvalitativt kan emellertid förutsägas, att de stora skillnader mellan verkan i grov- och finfraktionen, som känneteckna kalkupplösningen i ett totaldispergerat kalkpulver, i hög grad utjämnas, om pulvret påverkas i koagulerat tillstånd. Koagulationens mekanism och förutsättningar i det här aktuella fallet beröras ytterligare nedan i samband med granskningen av de experimentella resultaten.

¹ Detta gäller icke för sådant sediment, där t. ex. koldioxid utvecklas in situ genom nedbrytning av organisk substans eller svavelsyra bildas genom oxidation av järn(2)sulfid.

² Det torde vara lämpligt att använda detta betraktelsesätt, eftersom dimensionsangivelserna gälla sedimentet i starkt sammanpressat recent tillstånd och eftersom den låga sorteringen åstadkommer en god porfyllning.

Försöksresultatens vittnesbörd om sedimentationsmiljön.

Då moränmaterialet under transport och sedimentation uttvättas och framför allt kalciumkarbonat upplöses, anrikas övriga mer svårslösliga mineral såsom t. ex. dolomit. Ju mer omfattande kalkupplösningen är, desto kraftigare blir anrikningen. Högbom använde med tanke härpå kvoten $MgCO_3/CaCO_3$ såsom ett mått på lerans utlösningegrad.

Emellertid gäller Högboms förutsättning, att dolomiten är olöslig endast approximativt. Även dess upplösningshastighet ökar med avtagande kornstorlek. Med utgångspunkt från här framlagda analysresultat kan emellertid beräknas dels dolomitens löslighet inom de tre undersökta kornstorleksgrup-

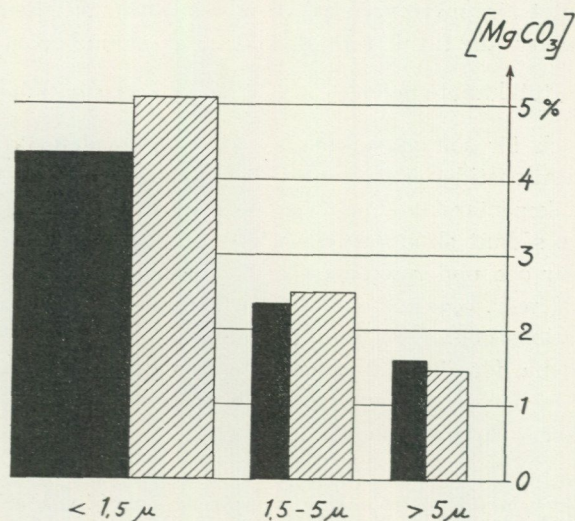


Fig. 4. Magnesiumkarbonathalten i fraktioner av sommarmaterial (streckade fält) och vintermaterial. Vid kalcitens upplösning anrikas den svårslösligare dolomiten. Emedan dennas löslighet gör sig märkbar vid små kornstorlekar, är magnesiumhalten lägre i vintermaterialets än i sommarmaterialets finfraktioner.

Tab. 4.

Fördelningen av dolomit på fraktioner av sommar- och vintermaterial ur varvet —783 samt kvoten $MgCO_3/CaCO_3$ i fraktionerna. De inom parentes angivna kvoterna för vintersedimentet äro de för magnesiumkarbonatets upplösning korrigerade kvoterna.

Kornstorlek inom fraktionen μ	$[MgCO_3]$	$[MgCO_3]$	$[MgCO_3]$	$[MgCO_3]$
	% \pm 0,05 Vinter	% \pm 0,05 Sommar	$[CaCO_3]$ Vinter	$[CaCO_3]$ Sommar
> 5	1,61	1,46	0,071(0,071)	0,051
5—1,5	2,36	2,50	0,065(0,081)	0,055
< 1,5	4,35	5,10	0,545(0,760)	0,212

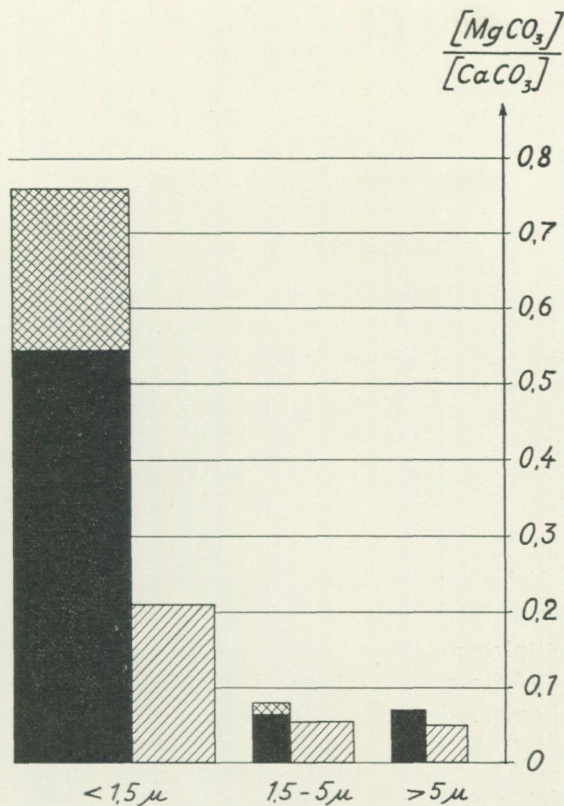


Fig. 5. Kvoten $MgCO_3/CaCO_3$ i fraktioner av sommarmaterial och vintermaterial ur varvet — 783. Vintervärdena ha korrigerats (dubbelstreckad yta i fig.) för dolomitens varierande löslighet, vilken är störst i finfraktionen och omärklig i grovfraktionen. Förhållandet mellan finfraktionens och grovfraktionens kvoter i vintersedimentet visa att upplösningshastigheten varit omkring 11 gånger större i den förra än i den senare.

perna, dels kvoten $MgCO_3/CaCO_3$ sådan den skulle ha varit om $MgCO_3$ ¹ under alla aktuella omständigheter varit olösligt. Beräkningen är schematiskt uppställd här nedan. Magnesiumhalten bestämdes i olika fraktioner av sommar- och vinterskikt av varvet — 783 (tab. 4, fig. 4 och 5).

Förutsättningar:

1. Sommarmaterialet lägges till grund för jämförelsen och förutsattes endast i försumbar grad ha påverkats av upplösning.
2. Sedimentet förutsattes bestå av a) mer eller mindre lösligt kalciumkarbonat, b) mer eller mindre löslig dolomit och c) en olöslig återstod (olösl.).

¹ I enlighet med Högbom redovisas och omtalas dolomiten här (oegentligt) såsom $MgCO_3$. Magnesiumkarbonaternas löslighet är i mycket hög grad beroende av deras struktur och vattenhalt, och endast dolomiten har lägre löslighetsprodukt än kalcit under motsvarande förhållanden, (Halla).

Beräkning:

A. Finfraktionen.

Somarmaterialet

består av 28,9 v.e.¹ CaCO₃ + 6,93 v.e. MgCO₃ per 100 v.e. olösl.

Vintermaterialet

består av 9,1 » » + 4,96 » » » 100 » »
 Upplöst 19,8 » » + 1,97 » » » 100 » »
 » 100 » » per 10 » »

Under förutsättning att MgCO₃ vore olösligt finnes i
 Vintermaterialet 9,1 v.e. CaCO₃ + 6,93 v.e. MgCO₃ per 100 v.e. olösl.
 vilket ger den korrigerade kvoten MgCO₃/CaCO₃ = 0,760.

B. Mellanfraktionen.

Somarmaterialet

består av 85,5 v.e. CaCO₃ + 4,75 v.e. MgCO₃ per 100 v.e. olösl.

Vintermaterialet

består av 58,8 » » + 3,82 » » » 100 » »
 Upplöst 26,7 » » + 0,93 » » » 100 » »
 » 100 » » per 3,5 » »

Under förutsättning att MgCO₃ vore olösligt finnes i
 vintermaterialet 58,8 v.e. CaCO + 4,75 v.e. MgCO₃ per 100 v.e. olösl.
 vilket ger den korrigerade kvoten MgCO₃/CaCO₃ = 0,081.

C. Grovfraktionen.

Somarmaterialet

består av 40,7 v.e. CaCO₃ + 2,08 v.e. MgCO₃ per 100 v.e. olösl.

Vintermaterialet

består av 30,3 » » + 2,14 » » » 100 » »
 Upplöst 10,4 » » + 0 » » » 100 » »

Ingen märkbar upplösning av dolomit har sålunda skett i grovfraktionen
 och kvoten MgCO₃/CaCO₃ = 0,071.

Allmängiltighet.

Den omständigheten att även somarmaterialet i någon mån korroderats
 av kolsyra kan möjligen skärpa skillnaden mellan funnen och korrigerad
 magnesium-kalciumkvot med någon procent.

Den såsom olöslig antagna återstoden är i själva verket löslig, men så svagt
 att hänsyn ej torde behöva tagas härtill i detta sammanhang. Tamm (1925)
 fann vid försök med nedmalning av granit att c:a 0,05 % av malgodset gick i
 lösning, då behandlingen försiggick i kolsyrehaltigt vatten under 72 timmar.

Av kvoten MgCO₃/CaCO₃ (tab. 4) att döma är upplösningshastigheten i
 somarmaterialet omkring 4 gånger och i vintersedimentet c:a 11 gånger
 större i den finaste fraktionen än i den grövsta. Medelkornstorleken i grovfrak-

¹ Viktsenheter.

tionen är 9μ (fig. 13) och om medelkornstorleken för kalkpartiklar i finfraktionen sättes så högt som 1μ (fraktionens median är $0,25 \mu$), blir förhållandet mellan dessa värden $9:1$.

Enligt uppställningen på sid. 19 borde under där förutsatta omständigheter utlösningförhållandet mellan de bägge här aktuella fraktionerna vara ungefär $9^2:1 = 81:1$ och om hänsyn tages till ytspänningsfaktorn och beilbyeffekten ännu större. Att den empiriskt funna skiljaktigheten mellan de olika grova fraktionernas upplösningshastigheter är så mycket mindre än den teoretiska kan enligt diskussionen på sid. 20—21 förklaras på två sätt. Antingen ha kalkpartiklarna förts hela vägen från moderbergarten till avsättningsplatsen i en starkt turbulent vattenström utan tillfälle till separation under fritt fall, eller också har jökälvlvsslammet aldrig varit dispergerat i lösningsmedlet utan har sedimenterat såsom koagulat. Den förra förklaringen är av allmänna geologiska och sedimentationstekniska skäl osannolik, under det att den senares riktighet bekräftas även av kornstorleksförhållandena i den undersökta glacialleran (sid. 38). En närmare behandling av de allmänna och här aktuella orsakerna till koagulation är därför av intresse.

Allmänna synpunkter på lerkoagulationen.

Det skulle föra för långt att här ingående redogöra för olika teorier om kogulationsmekanismen. Studier av denna ha utförts bl. a. av v. Smoluchowski, Gallay, Wiegner, Tuorila, Müller, Mattson och Gedroiz.

På grund av den browniska molekularrörelsen och på grund av olika fallhastighet hos de uppslammade partiklarna ändra dessa ständigt sina inbördes lägen. Om två partiklar komma tillräckligt nära varandra, överväger deras inbördes attraktion över de krafter, som sträva att åter skilja dem och koagulation säges föreligga. De till partiklarna adsorberade jonerna omgiva sig emellertid med vattensfärer, olika stora beroende på jonens art. Tjockleken av det hölje varmed varje mineralpartikel omgiver sig är därför beroende av de adsorberade jonernas karaktär. Under vissa givna förhållanden kan höljet antaga sådana dimensioner, att partiklarna icke kunna komma varandra så nära, att attraktionen mellan dem överväger över de fränskiljande krafterna, varför icke heller koagulation kan inträda. Sådana förhållanden råda, då mineralpartiklarna adsorberat starkt hydratiserade joner, såsom Li^+ eller Na^+ . Ca^{2+} och Ba^{2+} däremot äro svagt hydratiserade och förmå ej hindra att partiklarna häfta samman efter en kollision. Litium- och natriummättade leror äro därför relativt stabila, under det att kalcium- och bariumleror äro instabila och benägna för utflockning.

De suspenderade partiklarnas hydratationsgrad torde vara den faktor, som i första hand bestämmer dispersionsstabiliteten. Hydratationsgraden påverkas emellertid icke blott av jonkaraktären utan även av närvaron av fri elektrolyt. Mattson har visat hur elektrolytverkan kan förklaras, om systemet betraktas som en membranjämvikt.

En stegring av koagulationsintensiteten kan slutligen iakttagas, om suspen-

sionens partikelhalt ökas. Fenomenet beror på den ökade statistiska sannolikheten för kollision mellan partiklarna.

Koagulationens orsaker i den varviga märejls sedimentationsmiljö.

I den geologiska litteraturen återfinnas ett fåtal redogörelser för experiment, avsedda att visa dispersionsförhållandena i glaciallerans sedimentationsmiljö (t. ex. Fraser). Vid rekonstruktionen av marina förhållanden ha använts natriumkloridlösningar eller havsvatten av varierande koncentration och för återgivande av lakustrina förhållanden har leran dispergerats i destillerat vatten. Redan tidigare har Gripenberg (1934) framhållit, att denna senare rekonstruktion innebär en falsk analogi. Destillerat vatten är ingalunda att jämföra med grundvattnet i naturen i fråga om jonkoncentration och i synnerhet icke med havsvattnet framför en smältande landis. Tamm (1925) har visat, att smältvattnet från inlandsisen bör ha haft ett högt partialtryck av koldioxid och på grund av kolsyrehalten ett pH lägre än 5,6. Redan den höga vätejonkoncentrationen skapar förutsättning för en kraftig koagulation av isälvsslammet. Tamms försök visa vidare, att kolsyrehaltigt vatten angriper fältspat under nedmalning. Vid den lerhaltiga moränens uttvättning med smältvatten sker således en upplösning av lerfraktionens av isen nymalda mineral, och lösningsmedlets jonkoncentration och därmed dess utflockningsförmåga stiger ytterligare (samtidigt som vätejonkoncentrationen avtar). Då modermoränens karbonathalt är hög och en kraftig kalkupplösning skett, torde vattnets förhöjda kalciumjonkoncentration ha verksamt bidragit till att öka koagulationens snabbhet och intensitet. För erhållande av närmevärden på det senglaciala havsvattnets halt inom sedimentationsområdet av upplöst kalk och på andra faktorer, som kunna ha haft inflytande på dispersionsgraden har följande försök gjorts till uppskattning av den aktuella årliga isablationens storleksordning. På grund av problemets komplicerade natur och de många däri ingående obekanta faktorerna kan något bestämt värde för ablationens storlek knappast beräknas, men av erfarenhets- och sannolikhetskäl kunna extremerna och ett troligt medelvärde konstrueras. Vid utförandet av denna konstruktion har docent Carl Mannerfelt haft den stora vänligheten att lämna värdefulla råd samt uppgifter beträffande de sannolika förutsättningarna. Ytterligare bör understrykas att föreliggande beräkning enbart avser ablationens storleksordning och ej dess exakta dimension samt vidare att uppskattningen gäller endast det aktuella tidsavsnittet och endast avsmältningen bakom det här behandlade sedimentationsområdet.

Förutsättningar (inom parentes angivas sannolika medelvärden):

Firngränsen har legat 160—250 (160) km bakom isranden. Årliga ablationen vid isranden har varit 5—20 (10) m, på 35 km \perp avstånd från isranden 4—10 (8) m, på 75 km avstånd 3—8 (7) m, på 115 km avstånd 2—5 (4) m samt på 160 km avstånd 0—3 (0) m. Årsnederbörden har varit av storleksordningen 400 mm vid isranden och 800 mm vid firngränsen.

Om dessa förutsättningar gälla, strömmar över varje horisontalmeter av

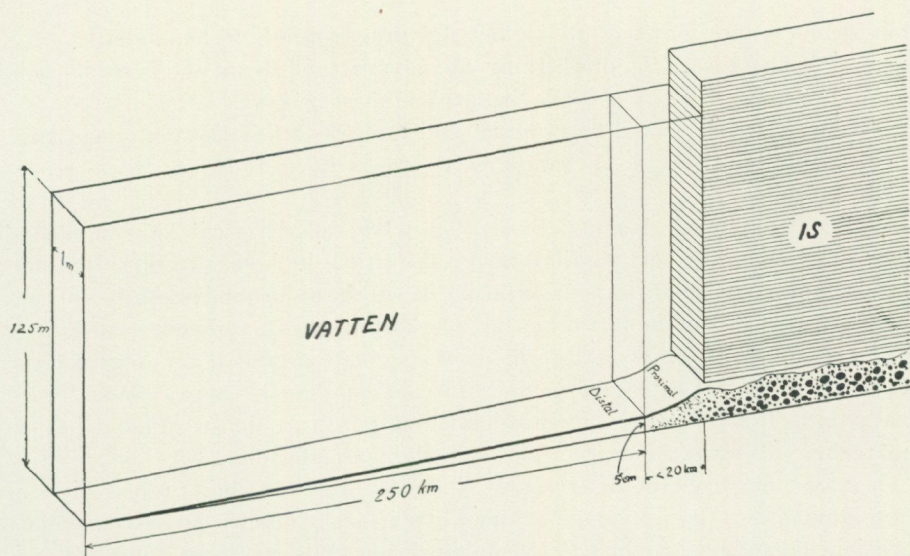


Fig. 6. Bilden avser att schematiskt illustrera dimensionerna hos det avsnitt av ett leravrv, vilket i texten användes som enhet för den kvantitativa uppskattningen av suspensionskoncentration, kalkmättningsgrad m. m. i varvmärgelns sedimentationsmiljö. Gränsen mellan proximal- och distalområdet har dragits i enlighet med den i föreliggande arbete föreslagna definitionen.

isbräcкан 5—14 (9) $\cdot 10^5$ m³ smältvatten per år. Hänsyn har icke tagits till avdunstningen från isytan, varför de erhållna koncentrationvärdena i varje fall ej torde vara för höga. Det speciella meteravsnitt av iskanten, som här tages i betraktande, förutsättes vara så beläget, att den undersökta sedimentationspunkten ligger på normalen mot detsamma. Av det minerogena material, som utföres med smältvattnet, upplöses en mindre del och resten avsättes i form av årsvarv. Volymen av den lera, som varje år avsättes framför den ifrågasvarande enmeterslängden av isbräcкан, antages (fig. 6) vara = volymen av en kil med 1 m bredd, 5 cm bashöjd och 250 km längd = $6,3 \cdot 10^3$ m³, motsvarande omkring $12,5 \cdot 10^3$ ton fuktig och $7,5 \cdot 10^3$ ton torr lera. Om 10 viktsprocent av torrleran antages utgöra den upplösta viktsmängden kalciumkarbonat (medeltal för varven — 757 till — 769), uppgår denna till $7,5 \cdot 10^2$ ton per år. Fördelas denna kvantitet på den årliga smältvattenmängden, erhålles 0,6—1,8 (1,0) g per liter vatten eller en kalciumjonkoncentration av 13—35 (20) mekv/l. I en vattenlösning av kolsyra med pH \approx 5 (i enlighet med Tamm, 1925) är koldioxidens partialtryck \approx 0,003 atm vid 20° C. Under sådana förhållanden är lösligheten hos grovkornig kalcit = 0,60 mekv/l Ca²⁺ och vid 0° C = 1,0 mekv/l. (Quinn och Jones). För att kalkupplösning sålunda skall kunna ha ägt rum i den utsträckning som analysresultaten antyda, bör smältvattnet ha blivit utspädd till minst 13—35 (20) gånger sin egen volym med kolsyrehaltigt vatten, fritt från kalciumjoner. I någon mån belysande i detta sammanhang är förhållandet mellan den årliga smältvattenvolymen och den vattenvolym, som står över den ovannämnda lerkilen och således utgör sedimentationsmediet för dess material. Med ett antaget medeldjup av 125 m

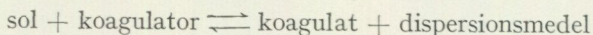
blir denna senare volym $3 \cdot 10^7$ m³ och det ifrågavarande förhållandet $1/20 - 1/60$ ($1/35$). För en fullständig omsättning av havsvattnet inom det berörda sedimentationsområdet bör sålunda ha åtgått högst två år.

Det må ytterligare med bestämdhet understrykas att endast den ungefärliga storleksordningen av de behandlade företeelserna belyses av ovan gjorda kalkyler.

Det är tydligt att den undersökta leran bör dels ha varit kalciummättad och dels ha avsatts i ett medium med relativt hög jonkoncentration. Den omfattande koagulation, som de kemiska och mekaniska analysresultaten bära vittne om, är sålunda lättförklarlig. De kvantitativa sambanden mellan de utflockningsbefordrande faktorerna och koagulationsgraden äro föga kända, varför det är svårt att draga några slutsatser om denna senare av ovan beräknade data. För erhållande av en uppfattning om dispersionstillståndet i varvmärgelns sedimentationsmiljö gjordes därför följande försök.

5 g av sommarsedimentet i varvet X (kornstorleksfördelning tab. 5, fig. 14) uppslammades i 500 ml vattenledningstvatten, något mindre hårt än medelhårt och innehållande 1,67 mekv Ca²⁺. Suspensionen hölls ett dygn under ett koldioxidtryck av ungefär 0,1 atmosfär och ställdes därefter i jämvikt med luften. Sedimentet visade sig ha totalkoagulerat och en väl iakttagbar gränssyta mellan koagulat och dispersionsmedel utbildades vid sedimentationen. Ovanför gränssytan var dispersionsmedlet efter 10 min sedimentation klart så när som på någon tiondels procent partiklar i form av flockar. Koagulationsgränssytan rörde sig nedåt med en konstant hastighet av 0,5 cm/min, d. v. s. med samma hastighet som en partikel med ekvivalentdiametern (definition sid. 31) 10 μ. Försöket visar, att åtminstone alla partiklar < 10 μ koagulera under de givna betingelserna. I vad mån koagulationen utsträcker sig till partiklar > 10 μ framgår däremot icke av resultatet.

Av ovan lämnade uppgifter framgår att jökälälvsvattnet torde ha fört i medeltal 6—18 (10) kg lersubstans per m³ och alltså ha utgjort en suspension med ungefärliga koncentrationen 1 %. I systemet



förskjutes som tidigare nämnts jämvikten åt höger, då solkoncentrationen ökar. Av det relaterade sedimentationsförsöket synes framgå, att en solkoncentration av 1 % är tillräcklig för att åstadkomma en snabb och långtgående koagulation. Under transporten i isälvtunneln torde koagulatflockarnas tillväxt utöver en viss gräns ha förhindrats av den kraftiga turbulensen. Då denna snabbt avtagit vid tunnelöppningen bör möjligheten ha förelegat för bildning av större aggregat, isynnerhet som suspensionen i området närmast iskanten knappast torde ha hunnit spädas ut i avsevärd grad.

Av det ovan sagda framgår, att den undersökta varvmärgeln synes ha sedimenterat såsom koagulat och att karaktären hos lerans katjoner, vattnets jonkoncentration och åtminstone tidvis suspensionens partikelkoncentration varit sådana, att de kunna ha orsakat snabb koagulation.

Kalkutfällning.

En närmare utredning av frågan om kalkutfällning i det senglaciala havet framför de delar av landisen, som förde starkt karbonathaltig bottenmorän, har icke inryckts i denna undersökning. De bildningar, vilka möjligen skulle kunna uppfattas såsom resultat av en sådan utfällning, behandlas ur kornstorlekssynpunkt av Hörner. En del omständigheter som framgå av ovan förda resonemang, förtjäna emellertid att här påpekas.

Storleksordningen för det senglaciala havsvattnets förmodade maximihalt av löst kalk är densamma som för kalciumkarbonatets löslighet under i detta vatten rådande förhållanden. Möjligheten av en temporär kalkövermättning kan sålunda tänkas förorsakad av temperaturhöjning i vattnets ytskikt eller framför allt genom upplösning av finkornig calcit (sid. 18). Övermättningen kan bibehållas så länge fasta kristallisationskärnor av tillräcklig storlek icke förefinnas i större mängd och så länge icke temperatur och hydroxyljonkoncentration stiga utöver en viss gräns. Om vid vårflödet vattnets halt av större calcitpartiklar plötsligen ökar, bör övermättningen upphävas genom utfällning av kalciumkarbonat. En utfällning bör även bli följden om ytvattnet under sommaren uppvärms tillräckligt kraftigt eller om vid planktonblomningen vattnets vätejonkoncentration avtager på grund av assimilationsverksamheten. En viss möjlighet finnes därför, för att de tidigare omtalade kalkmjälkskikten, som i vissa delar av lagerföljden äro mycket frekventa i varvens sommarskikt, till övervägande delen bestå av utfälld kalk. Härför talar även den anmärkningsvärt stränga kornsortering, som enligt Hörner karakteriserar kalkmjälan, och som under vissa betingelser är utmärkande för fällningar.

Ovan nämnda, synbarligen primära kalkmjälkskikt böra skiljas från de horisonter med sekundär karbonatutfällning, som framför allt karakterisera glidna och breccierade partier av varvmärgeln, och som ha ett mer oregelbundet förlopp i förhållande till skiktplanen (Holmquist).

Det fasta kalciumkarbonatet i jökälävsslammet har under sedimentationen till stor del gått i lösning.

Det senglaciala havsvattnets kalkundermättning och därmed kalkupplösningen har varit kraftigare vintertid än sommartid beroende på den minskade slamtillförseln under den kalla årstiden.

De samband, som gälla för kalkupplösningens förlopp vid olika kornstorlek hos det angripna materialet, ha ovan härletts.

Den undersökta varvmärgeln har sedimenterat i koagulerad form.

III. Sedimentets kornstorleksfördelning.

Metodik.

Kring problemet om bestämning av partikelstorlek och partikelfördelning har bedrivits en omfattande forskning och en redogörelse för dess resultat faller av kvantitativa skäl utom ramen för denna framställning. För jämförande

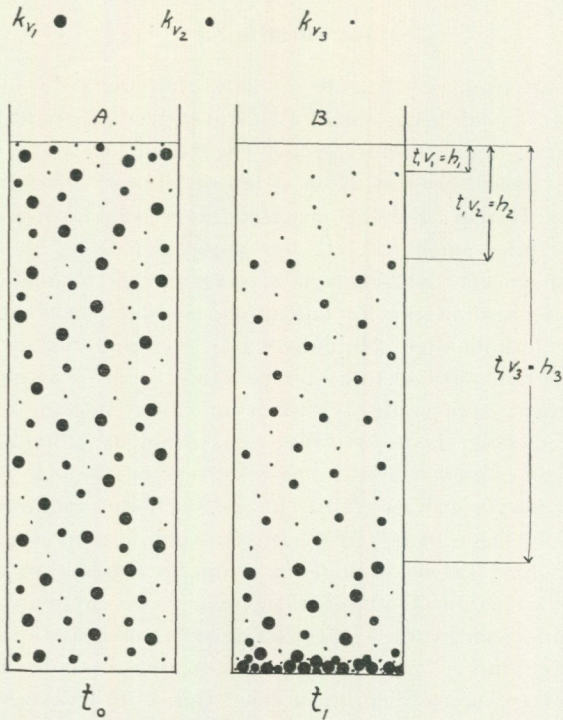


Fig. 7. Ett cylindriskt kärl innehåller en suspension, vars fasta fas består av partiklar av tre olika storlekar, k_{v_1} , k_{v_2} och k_{v_3} , vilka ha fallhastigheterna v_1 , v_2 och v_3 . I fig. A äro vid tiden t_0 partiklarna likformigt fördelade över hela suspensionsvolymen. I fig. B ha partiklarna sedimenterat under tiden t_1 , varvid varje kornstorlek återfinnes endast under en viss bestämd nivå.
(Delvis efter Odén.)

metodikbeskrivning m. m. hänvisas till sammanfattningar sådana som i Berg samt Gripenberg (1939).

Såsom varande en av de noggrannaste och samtidigt enklaste metoderna för bestämning av kornstorleksfördelning valdes pipettmetoden (Robinson, Krauss samt Jennings, Thomas och Gardner) i Andreasens utformning. Metodens teori är mycket enkel. Om en slät, sfärisk partikel i tyngdkraftfältet antages falla genom ett homogent medium av obegränsad utsträckning och partikelns rörelse retarderas enbart av mediets motstånd, uttryckes sambandet mellan partikelns hastighet v och radie r i enlighet med Stokes lag

$$v = \frac{2}{9} g \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{\eta} r^2 \dots \dots \dots (5)$$

där σ_1 är partikelns och σ_0 mediets specifika vikt, η mediets viskositet och g tyngdkraftaccelerationen. (5) kan även skrivas

$$r = q_4 \sqrt{v} \dots \dots \dots (5 a)$$

där q_4 således är en konstant, som i ett med avseende på läge och sammansättning bestämt dispersionssystem endast varierar med temperaturen (som påverkar σ_0 och η).

Vidare är

$$v = \frac{h}{t} \dots \dots \dots (6)$$

om h är fallvägen och t falltiden. Genom insättning av (6) i (5 a) erhålles

$$r = q_4 \sqrt{\frac{h}{t}} \dots \dots \dots (7)$$

I det fall partikeln inte är sfärisk, förlorar r sin geometriska betydelse. På grund härav införde Odén (1915) begreppet ekvivalentradie. Denna sägas alla partiklar med samma specifika vikt äga, vilka ha samma fallhastighet oavsett den geometriska formen.

Fig. 7 A föreställer ett kärl innehållande en jämnt fördelad suspension med koncentrationen c_0 och bestående av partiklar med fallhastigheterna v_1 , v_2 och v_3 . Vid tiden t_1 (B i fig.) ha alla partiklar $k_{v_1} \geq t_1$ sjunkit \geq sträckan $t_1 v_1 = h_1$, alla $k_{v_2} \geq t_1$ $v_2 = h_2$ och alla $k_{v_3} \geq t_1$ $v_3 = h_3$. Ovanför ett horisontalplan på avståndet h_3 från vätskeytan finnas därför vid tiden t_1 endast partiklar med fallhastighet mindre än v_3 . Förhållandet mellan å ena sidan partikelkoncentrationen c_{t_1} omedelbart ovanför nämnda plan vid denna tid och å andra sidan den ursprungliga koncentrationen c_0 är således = förhållandet mellan mängden av partiklar med hastighet mindre än v_3 och den ursprungliga partikelmängden.

Problemet angående bestämningen av koncentrationen på en viss nivå i suspensionen löses med Andreasens metod, så att en bestämd volym uttages med pipett vid ifrågavarande nivå, varefter provet indunstas och väges. Apparatus utseende framgår av fig. 8. En för resultatens noggrannhet och reproducerbarhet väsentlig fordran är att provets insugning sker mycket jämnt. Vid provtagningen användes i detta fall en evakuerad behållare, som genom en lämpligt avpassad kapillär stod i förbindelse med pipetten. Försöksfelet är vid noggrant arbete $< 2 \%$ (Berg).

Avvikelser i specifik vikt såsom felkälla.

Den petrografiska skiljaktigheten mellan vinter- och sommarskikt orsakar skillnader mellan de båda sedimentarterna även med avseende på specifik vikt. Det är därför av principiellt intresse att se hur försöksresultaten påverkas av ändringar i partiklarnas specifika vikt.

Låt r_1 och r_2 vara radierna hos två partiklar med sp. v. σ_1 resp. σ_2 , båda med fallhastigheten v . Ur (5) erhålles

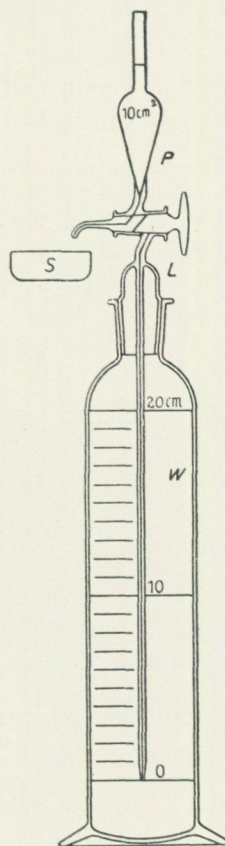


Fig. 8. Pipettapparat enligt Andreasen.

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{\sigma_2 - \sigma_0}{\sigma_1 - \sigma_0}}$$

De med pyknometer utförda bestämningarna av lerans specifika vikt gåvo till resultat

D G år —765 vinterskikt sp.v. 2,649

D G » » sommarskikt » 2,694

Vid en antagen vattentemperatur av $+20^\circ$ C är $\sigma_0 = 0,998$ och

$$r_1 = r_2 \cdot 1,014$$

r_1 avviker således från r_2 med 1,4 %. Det fel i värdet på ekvivalentdiametern, som erhålles om ett medelvärde brukas vid angivande av varvmärgelns specifika vikt, uppgår sålunda i förhandenvarande fall till 0,7 % av k och kan i detta sammanhang försummas.

Materialets redovisning.

Som ovan nämnts utgöras de vid pipettanalysen erhållna försöksvärdena av den viktmängd p av fast fas, som vid tiden t innehålles i en från djupet h hämtad suspensionsvolym u . Om c är den fasta fasens koncentration, är $c = \frac{p}{u}$.

Låt c_{t_0} och c_{t_1} vara koncentrationerna vid begynnelsetiden t_0 och vid tiden t_1 . För koncentrationsförhållandet erhålles då uttrycket

$$\frac{c_{t_1}}{c_{t_0}} = \frac{\frac{p_{t_1}}{u_{t_1}}}{\frac{p_{t_0}}{u_{t_0}}} \dots \dots \dots (8)$$

och om u såsom här varit fallet hålles konstant ($u = 10$ ml)

$$\frac{c_{t_1}}{c_{t_0}} = \frac{p_{t_1}}{p_{t_0}} \dots \dots \dots (8 a)$$

eller

$$c_{t_1} = 100 \frac{p_{t_1}}{p_{t_0}} \% \cdot c_{t_0} \dots \dots \dots (8 b)$$

Kvoten $\frac{p_{t_1}}{p_{t_0}}$ anger således hur stor del av materialet, som finnes kvar i en bestämd del av suspensionen vid en viss tidpunkt. På grund av sambandet (7) mellan falltid och kornstorlek kan $\frac{p_{t_1}}{p_{t_0}}$ betraktas även som en funktion $C(k)$ av kornstorleken k . I grafisk framställning ger $C(k)$ mot k en summationskurva (fig. 9 A). Om $C(k)$ uttryckes i %, betyder en viss ordinata, exempelvis $C(k_6)$ i fig. 9 A den procentuella mängd av materialet, som utgöres av partiklar mindre än k_6 , och skillnaden mellan två ordinator, exempelvis mellan $C(k_6)$ och $C(k_7) = \Delta C(k)_6$ uttrycker mängden av de partiklar, vilkas diametrar ligga mellan motsvarande abskissor k_6 och k_7 .

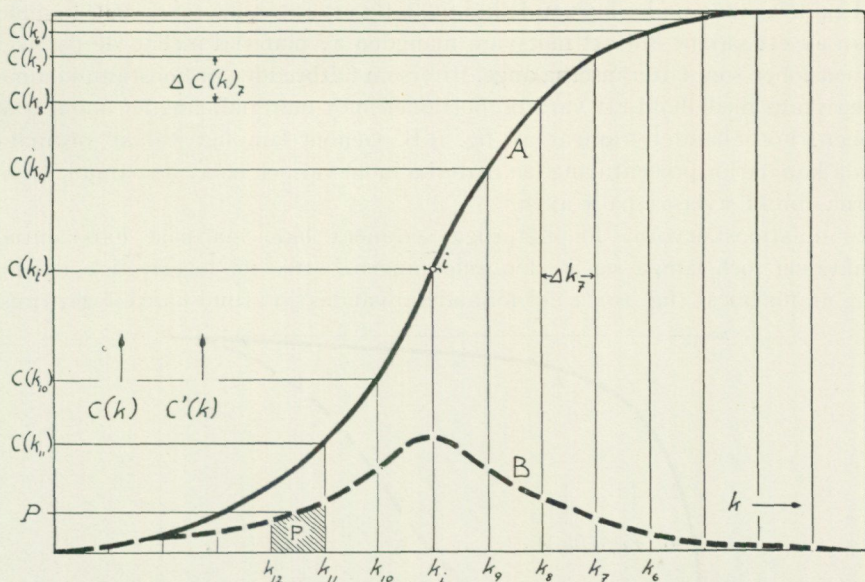


Fig. 9. A, summationskurvan. Kornstorleken har avsatts som abscissa och den procentuella andel av materialet, som utgöres av partiklar mindre än denna kornstorlek såsom motsvarande ordinata. Procentandelen erhålles direkt ur analysresultaten och kornstorleken beräknas ur värdena för falltid och fallhöjd. $C(k_8)\%$ av materialet består tydligen av korn med diameter mindre än k_8 , $C(k_7)\%$ av korn mindre än k_7 , etc.

I fraktionen mellan k_7 och k_8 ligger $\Delta C(k)_7\%$ av materialet. Åt vänster ökar materialmängden inom likstora fraktioner alltmer liksom även kurvans branthet, till dess att punkten i på kurvan passeras, då mängden åter avtager och kurvan flacknar. Branthetens variation återges av fördelningskurvan B. I denna uttrycker ytan P hur många procent av materialet, som ligger mellan k_{11} och k_{12} . Samma sak uttryckes av figuren P:s medelhöjd, varför procentmängden direkt kan avläsas på y-axeln.

När i summationskurvan fig. 9 A kornstorleken går från k_6 till k_7 , d. v. s. ändras med beloppet Δk_6 , går samtidigt ordinatan, d. v. s. uttrycket för procentuella mängden korn med diameter mindre än k , från $C(k_6)$ till $C(k_7)$ och ändras sålunda med beloppet $\Delta C(k)_6$. Inom partikeldimensionsområdet Δk_6 finnes följaktligen partikelmängden $\Delta C(k)_6$. Om kornstorleken ytterligare avtager från k_7 med jämna intervall, framgår av figuren, att inom varje sådant intervall en allt större mängd material kommer att ligga, intill dess att $k = k_i$, varefter materialmängden per intervall åter avtager. För $k = k_i$ har kurvan en inflexionspunkt, som anger maximum i fördelningen. Genom derivering av $C(k)$ erhålles sålunda en fördelningsfunktion, $D(k)$ (fig. 9 B), som illustrerar branthetsvariationerna i summationskurvan och som har ett maximum motsvarande maximum i kornstorleksfördelningen. För förhållandet mellan funktionerna $C(k)$ och $D(k)$ gäller alltså

$$C'(k) = D(k) \dots\dots\dots (9)$$

och

$$C(k) = \int_0^k D(k) dk \dots\dots\dots (9 a)$$

Uppdelas ytan under kurvan $D(k)$ i fig. 9 B i ett antal lika breda fält, kommer ytan av ett sådant fält att motsvara mängden av material mellan de partikeldimensioner, som fältgränserna ange. Eftersom fältbredden är konstant, kommer även ytans medelhöjd att vara proportionell mot materialmängden inom fraktionen. Förhållandet framgår av fig. 9 B. Genom lämpligt val av ordinataskala kan därför procentmängden material inom var och en av de nämnda grupperna direkt avläsas på y -axeln.

Summationskurvorna för naturliga sediment likna närmast exponentialfunktioner, och lämpa sig av den anledningen bättre för logaritmisk återgivning än för linjär (fig. 10). I det följande användes på grund härav logaritmisk

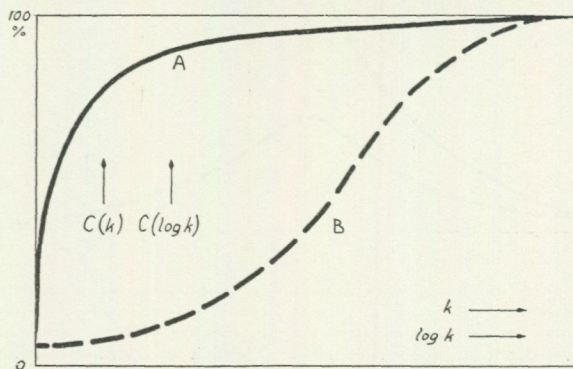


Fig. 10. Den i linjär abscissaskala framställda summationskurvan, A, har för flertalet naturliga sediment sådan form, att den brantaste delen svårigen kan återges med önskvärd grafisk detaljering om diagrammet omfattar även den flacka kurvdelen. Summationskurvan med logaritmisk abscissaskala, B, erbjuder däremot inga svårigheter i detta avseende. Samma sak gäller för fördelningskurvan.

abscissaskala, d. v. s. de kurvor, som konstrueras, motsvara icke $C(k)$ och $D(k)$ utan $C(\log k)$ och $D(\log k)$. I fördelningsdiagrammen har i enlighet med Uddén och Wentworth (1934) valts gruppbredden $\log 2$, vilket innebär att med sjunkande kornstorlek varje grupp omfattar ett hälften så stort partikeldimensionsområde som den föregående. Fördelningsdiagrammen över de undersökta sedimenten omfatta sålunda grupperna $32-16 \mu$, $16-8 \mu$, $8-4 \mu$, $4-2 \mu$, $2-1 \mu$ och $1-0,5 \mu$.

Vid logariteringen kommer inflexionspunkten i summationskurvan jämte maximum i fördelningskurvan att förskjutas åt höger. Maximum i den logaritmiska fördelningen inträffar sålunda vid en större kornstorlek än i den lineära. I det här undersökta materialet exempelvis ligger det logaritmiska maximum vid $2-4 \mu$ men ännu i den lägsta undersökta gruppen $0,52-0,12 \mu$ har icke i något fall maximum i den lineära fördelningen överskridits.

De summations- och fördelningskurvor, som erhållits ur föreliggande material, äro av sammansatt natur och kunna icke anses var och en svara mot en speciell funktion, varför de ej heller kunna utan vidare deriveras. För konstruktion av fördelningsdiagrammen är det därför lämpligt att tillgripa approximativ derivering (jfr även Krumbein och Pettijohn). Låt $\log k_1$ och $\log k_2$ i fig. 11 motsvara kornstorleksvärden, för vilka korresponderande ordinator

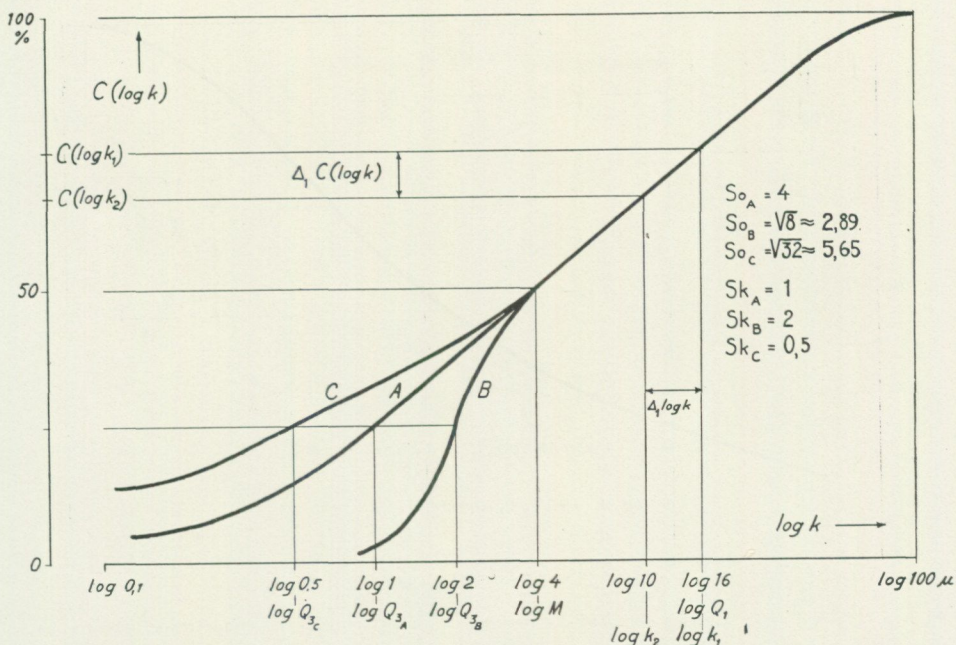


Fig. 11. Summationskurvor för hypotetiskt material av olika symmetri- och sorteringsgrad. C är dåligt, A normalt och B relativt väl sorterat. A är symmetriskt fördelat, B är bäst sorterat i finfraktionen och C i grovfraktionen.

De vid konstruktion av motsvarande fördelningskurvor använda approximativa derivatorna erhållas genom division av $\Delta C(\log k)$ med $\Delta \log k$.

$C(\log k_1)$ och $C(\log k_2)$ äro experimentellt bestämda. Sättes vidare $\log k_1 - \log k_2 = \Delta \log k$, och $C(\log k_1) - C(\log k_2) = \Delta C(\log k)$, gäller för den approximativa derivatan δ med avseende på $\log \frac{k_1 + k_2}{2}$

$$\delta = \frac{\Delta C(\log k)}{\Delta \log k} \dots \dots \dots (10)$$

och

$$\lim_{\Delta \log k \rightarrow 0} \delta = C'(\log k)$$

För att i den logaritmiska skalan en jämn fördelning av försöksvärdena skulle erhållas, ha dessa valts så att kvoten mellan två på varandra följande värden för avtagande k i allmänhet är ungefär konstant och $\approx 1,7$.

För den jämförande karakteristiken av $C(k)$ i olika prov är det lämpligt att i enlighet med Trask (1932 a och b) ange vissa statistiska konstanter, nämligen medianen M , första och tredje fjärdeparterna Q_1 och Q_3 , sorteringskoefficienten S_o och symmetrikoeficienten S_k . Medianen M är det värde på k , som gör $C(k) = 50\%$ eller med andra ord ekvivalentdiametern av det största korn, som faller till botten i samma ögonblick som halva provmängden sedimenterat. På liknande sätt betecknar Q_1 den ekvivalentdiameter för vilken $C(k) = 75\%$ och Q_3 den, för vilken $C(k) = 25\%$. Konstanternas grafiska

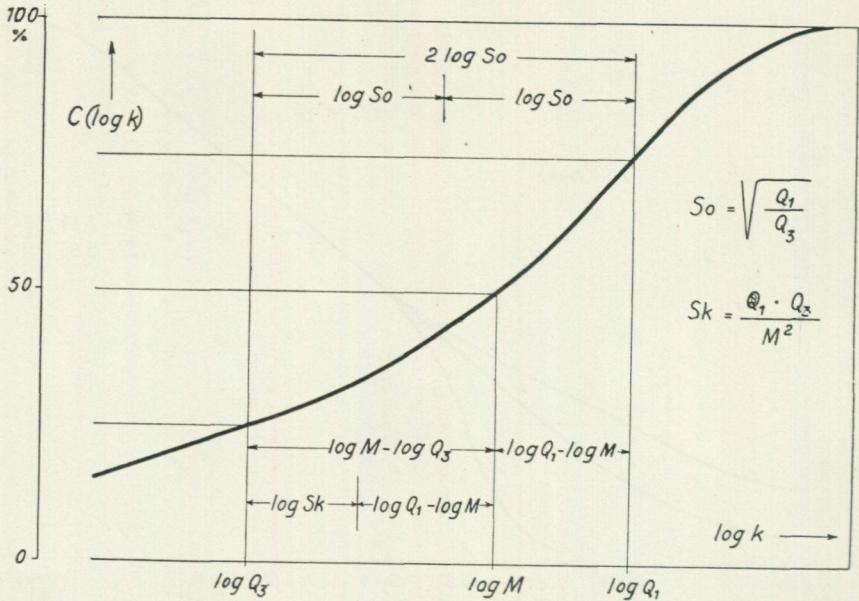


Fig. 12. Figuren avser att visa den grafiska betydelsen av sorterings- och symmetrikoefficienternas logaritmer.

betydelse framgår av fig. 11—12. Sorteringskoefficienten betecknar sedimentets sorteringsgrad och definieras

$$So = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_3}} \dots\dots\dots (11)$$

Vid högsta möjliga sorteringsgrad ha alla korn samma ekvivalentdiameter k_s , för vilken $C(k)$ antar alla tänkbara värden eller med andra ord summationskurvan får formen av en rät linje genom k_s , parallell med y-axeln och $k_{max} = k_{min} = M$. Då sorteringen går mot detta gränsvärde, gäller för sorteringskoefficienten

$$\lim_{Q_1 \rightarrow Q_3} So = 1$$

I fig. 11 ha tre idealiserade summationskurvor konstruerats för symmetriskt fördelade sediment av olika sorteringsgrad. Enligt Trask (l. c.) är ett sediment att betrakta som väl sorterat, om $So < 2,5$ (B i fig. 11), normalt om $2,5 < So < 4,5$ (A i fig. 11) och dåligt sorterat, om $So > 4,5$ (C i fig. 11).

Vid logaritmering av (11) erhålles

$$\log So = \frac{\log Q_1 - \log Q_3}{2} \dots\dots\dots (11 a)$$

$\log So$ åskådliggöres geometriskt i fig. 12.

Symmetrikoefficienten Sk ger ett uttryck för kornstorleksfördelningens symmetrigrad och definieras

$$Sk = \frac{Q_1 \cdot Q_3}{M^2} \dots \dots \dots (12)$$

Storleken av Sk bestämmes således genom förhållandet mellan lägena av Q_1 och Q_3 med avseende på medianen. Villkoret för att Q_1 och Q_3 äro fullt symmetriskt placerade i förhållande till denna är $Q_1 \cdot Q_3 = M^2$, vilket förhållande gör $Sk = 1$. Om Sk är större än 1, är materialets finfraktion bättre sorterad än grovfraktionen och motsatta förhållandet råder, om Sk är mindre än 1. Symmetrifaktorns betydelse visas grafiskt i fig. 11 B.

Vid logaritmering av (12) erhålles

$$\log Sk = (\log Q_1 - \log M) - (\log M - \log Q_3) \dots \dots (12 a)$$

Log Sk har geometriskt åskådliggjorts i fig. 12.

Såsom Gripenberg (1934) påpekat, måste man i praktiken iakttaga en viss försiktighet, när det gäller tolkningen av värdena för sorterings- och symmetri-koefficienterna, i synnerhet när sekundära fördelningsmaxima finnas för kornstorlekar motsvarande $C(k) > 75\%$ eller $< 25\%$. Såsom ju framgår av ovanstående, är det nämligen kurvans förlopp enbart mellan Q_1 och Q_3 , som bestämmer värdena för So och Sk .

Materialets förbehandling.

De synpunkter, som här skola anläggas, äro helt speciella. Beträffande allmänna förutsättningar och tillvägagångssätt jämte praktiska och teoretiska undersökningar av koagulationen och dess orsaker hänvisas i första hand till de på sid. 25 nämnda arbetena.

Avgörande för valet av förbehandlingsmetodik har i detta fall varit

- 1) att materialet har en hög halt av kalciumkarbonat och därför visar en stor benägenhet för koagulation
- 2) att vid jämförande försök med natriumpyrofosfat, ammoniak och natriumoxalat optimal peptisation erhållits med 0,002 M natriumpyrofosfat (se även Berg och Chwala)
- 3) att skillnaden mellan peptisationsmedlets optimalkoncentration för sommar- och vintermaterial är försumbar och
- 4) att kalciumkarbonatets löslighet och därmed suspensionens benägenhet för utflockning betydligt avtar med vätejonkoncentrationen. Sedimentationsförsök, som företogs med material ur varvet —783 vid pH 6,2, 7,0, 7,8 och 8,6 i suspensionen gävo vid handen att koagulation inträdde i de bägge första fallen men däremot icke märkbart påverkade resultaten vid pH 7,8 och 8,6.

Av varje prov uttogs en mängd svarande mot c:a 5 g torrsubstans, revs med 50 ml 0,022 M pyrofosfatlösning och skakades 48 timmar, varefter suspensionen späddes till 550 ml. Genom upprepad skakning under några minuter erhöill uppslamningen sin slutliga dispersionsgrad.

Resultat.

De med avseende på kornstorleksfördelning undersökta varven äro av två typer, dels med, dels utan synbara sådana mjälskikt, som beskrivits på sid. 9. Till den förra typen hör varvet —783 (tab. 5, fig. 13), och varvet X (tab. 5,

Tab. 5.

Försöksresultaten vid mekanisk analys av varven —783, X, S och H, uttryckta såsom $C(k)$ i % samt statistiska karakteristika för kornstorleksfördelningen i de undersökta varvens sommar- och vinterskikt. Q_1 och Q_3 = första och tredje fjärdeparterna, M = medianen, S_0 = sorterings- och Sk = symmetrioefficienten.

k μ	—783		X		S		H	
	vinter %	sommar %	vinter %	sommar %	vinter %	sommar %	vinter %	sommar %
43.....	98,5	99,5	100	100	99,3	99,5	100	100
27.....	96,5	99	98	100	98,8	99,0	99	99
15,5.....	94	98	93	96	96,8	98,5	97	98
8,8.....	91	91	84,5	89	91,5	96,5	91	96
4,8.....	83	77	74,5	80	79,3	89,5	78	88
2,73.....	74	62	65,5	66	65,8	78,5	61	73
1,77.....	65	48	56,5	52	52,5	65,2	50	63
0,52.....	43	33, ¹	35	30	35,4	42,6	34	42
0,19.....	22,7	20,7	13,5	21,8	21,4	24,7	—	—
0,12.....	—	—	—	—	—	—	17	22
Konstant	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ
Q_1	3,0	4,4	5,0	3,8	3,9	2,4	4,3	2,9
M	0,8	1,9	1,2	1,6	1,6	0,8	1,8	0,9
Q_3	0,2 ¹	0,25	0,3 ¹	0,30	0,25	0,19	0,24	0,15
S_0	3,8	4,2	4,0	3,6	4,0	3,6	4,1	4,4
Sk	1,0	0,4	1,1	0,4	0,5	0,7	0,3	0,5

fig. 14), som härrör från omkring —790, medan till den senare höra varven S och H (tab. 5, fig. 15 och 16), båda från tiden mellan —800 och —815. Färgvarvigheten är mest utpräglad i X, S och H. De olika provens fördelningskonstanter ha sammanställts i tab. 5.

Redan förekomsten av distinkta mjälskikt i sommardelen av —783 gjorde det sannolikt, att detta varvs sommarskikt i medeltal vore grövre än vinterskikten. Den granulometriska undersökningen visar också, att så är fallet, men att kornstorleksskillnaderna icke äro lika utpräglade i alla fraktioner. I —783 är vintersedimentet rikare på grovmjäla och finlera än sommarsedimentet men fattigare på finmjäla än detta. Vintersedimentet är sålunda i det undersökta kornstorleksområdet sämre sorterat än sommarsedimentet (ehuru bättre mellan Q_1 och Q_3). Sommarskiktets tillskott av den ur kornstorleksynpunkt mycket homogena kalkmjälan framkallar intrycket av en bättre

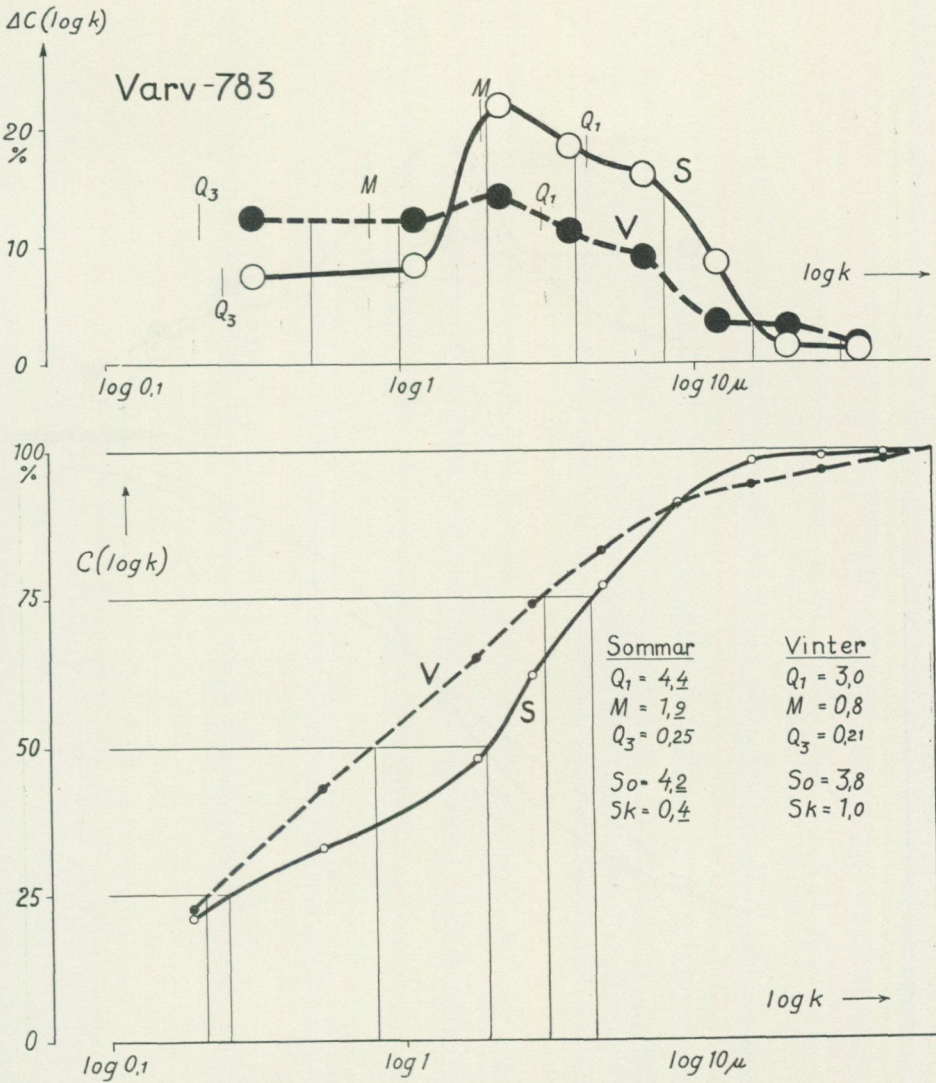


Fig. 13. Fördelnings- och summationskurvor för sommar- och vintermaterial ur varvet -783. Vintersedimentet är rikare på finlera och grovmjåla än sommarsedimentet, men detta är rikare på finmjåla.

sortering i grov- än i finfraktionen, under det att vintermaterialet är symmetriskt fördelat. På liknande sätt som i -783 förhålla sig sommar- och vinterskikt i varvet X. Det makroskopiska utseendet av varven S och H kunde lätt föranleda en misstanke om att det ljusare materialet är grövre än det mörka, som i torrt tillstånd förefaller tätare och svårare att smula sönder än det mjöligare, ljusa sommarsedimentet. Man må emellertid betänka, att denna skillnad i egenskaper även kan föras tillbaka på de avsevärda petrografiska skiljaktigheter, som föreligger mellan den karbonatrika sommarmärgeln och den för upp-

Varv X

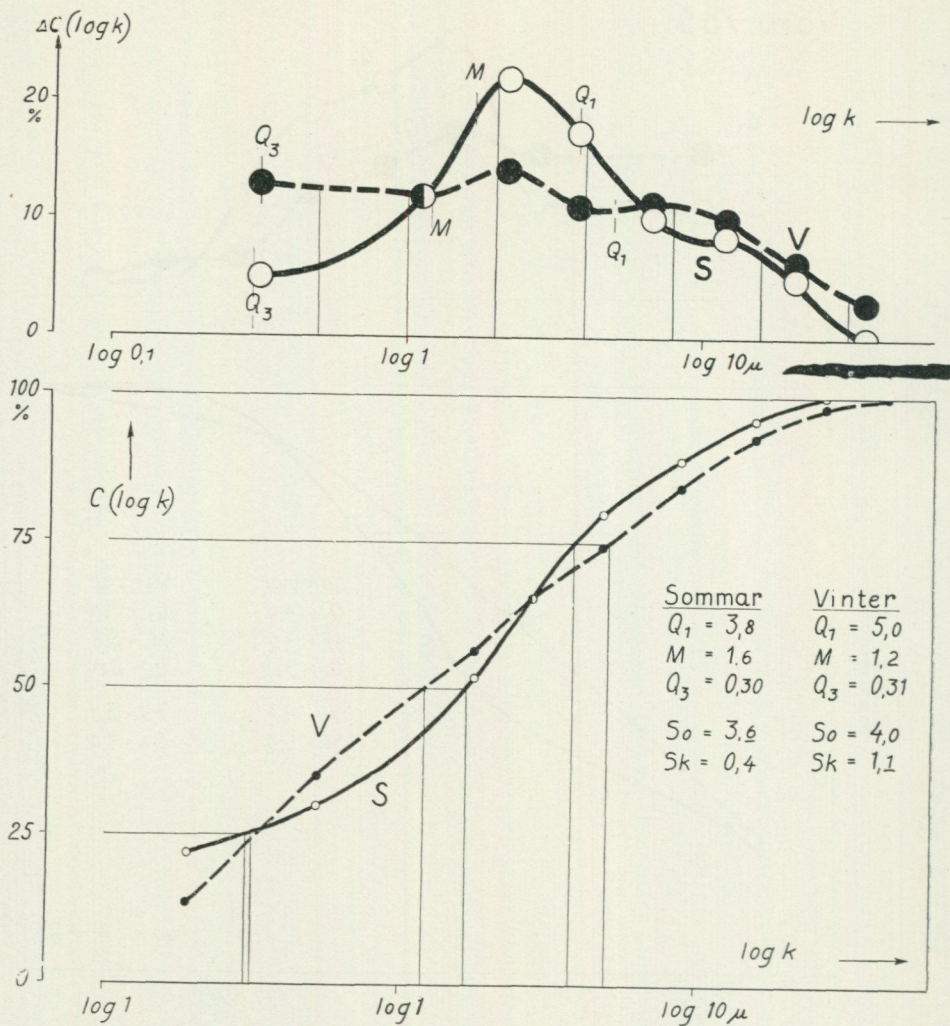


Fig. 14. Kornstorleksfördelningen i sommar- och vintermaterial ur varvet X. Förhållandena likna dem i varvet —783, men vinterskiktets höga halt av grövsta och finaste material är här ännu mer påfallande.

lösning utsatta, kalkfattiga men järnhydroxidrika vinterleran. Kornstorleksundersökningen visar också (tab. 5, fig. 15 och 16), att vintersedimentet icke är finare utan i ännu större utsträckning än i varven —783 och X grövre än sommarsedimentet. I både S och H sammanfalla sorteringskoefficienterna för sommar- och vintersediment liksom även symmetrioefficienterna inom vederbörande felgränser. Sommarskikten äro mycket finkorniga med medianerna mellan 0,8 och 0,9 μ och fördelningsmaximum vid 2,3 resp. 4 μ . Vintersedimentens maxima överensstämma med sommarsedimentens, men materialet har för-

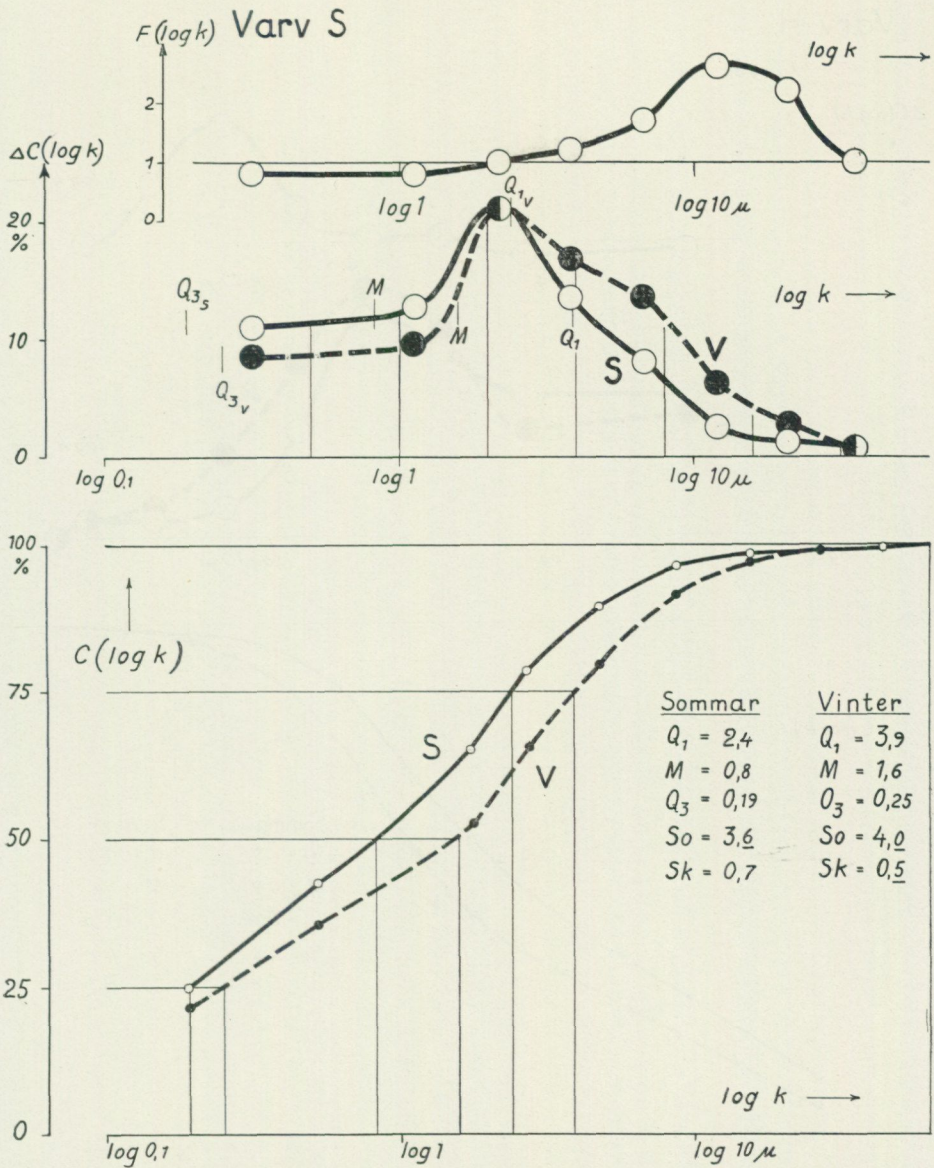


Fig. 15. Kornstorleksfördelningen i sommar- och vintermaterial av varvet S. Upplösningens för-grovande inflytande, som kunde iakttagas även i varven -783 (fig. 13) och X (fig. 14) är här mycket utpräglat. Då isälvsslammets karbonatkorn påverkas av kolsyra, komma de finare partikel-fraktionerna att på grund av sin större yta per viktsenhet material upplöses hastigare än de grova och det grövre materialet anrikas därför i vintersedimentet. Lerfraktionen erfar den snabbaste upplösningen men får dessutom hela tiden nyttillskott bestående av olöslig återstod efter det ma-terial, som upplösts i mjålafraktionen. För upplösningen därför fortgå så länge att allt lättlösligt lermaterial försvunnit kommer lerybildningen genom nedbrytning av grovmaterial att resultera i utbildningen av ett sekundärt fördelningsmaximum i kolloidfraktionen. Den ursprungliga mjåliga leran har på så vis, omvandlats till ett residu-sediment med två fördelningsmaxima, ett i grov-mjåla och ett i ultralera [det senare är här i varvet S ej utbildat, men antydes i vintermaterialet från varvet H (fig. 16)]. Förhållandet mellan vinter- och sommar-materialets mekaniska samman-sättning framgår ytterligare av den ovanför fördelningsdiagrammet inlagda funktionen $F(\log k)$, i vilken varje ordinata utgör kvoten mellan vintersedimentets och sommarsedimentets motsvarande ordinator i fördelningsdiagrammet. Ju högre kurvan $F(\log k)$ därför är, desto större är vinter-materiales övervikt över sommar-materialet. När funktionen = 1 råder jämvikt mellan båda, och vid lägre värden överväger sommarsedimentet.

Varv H

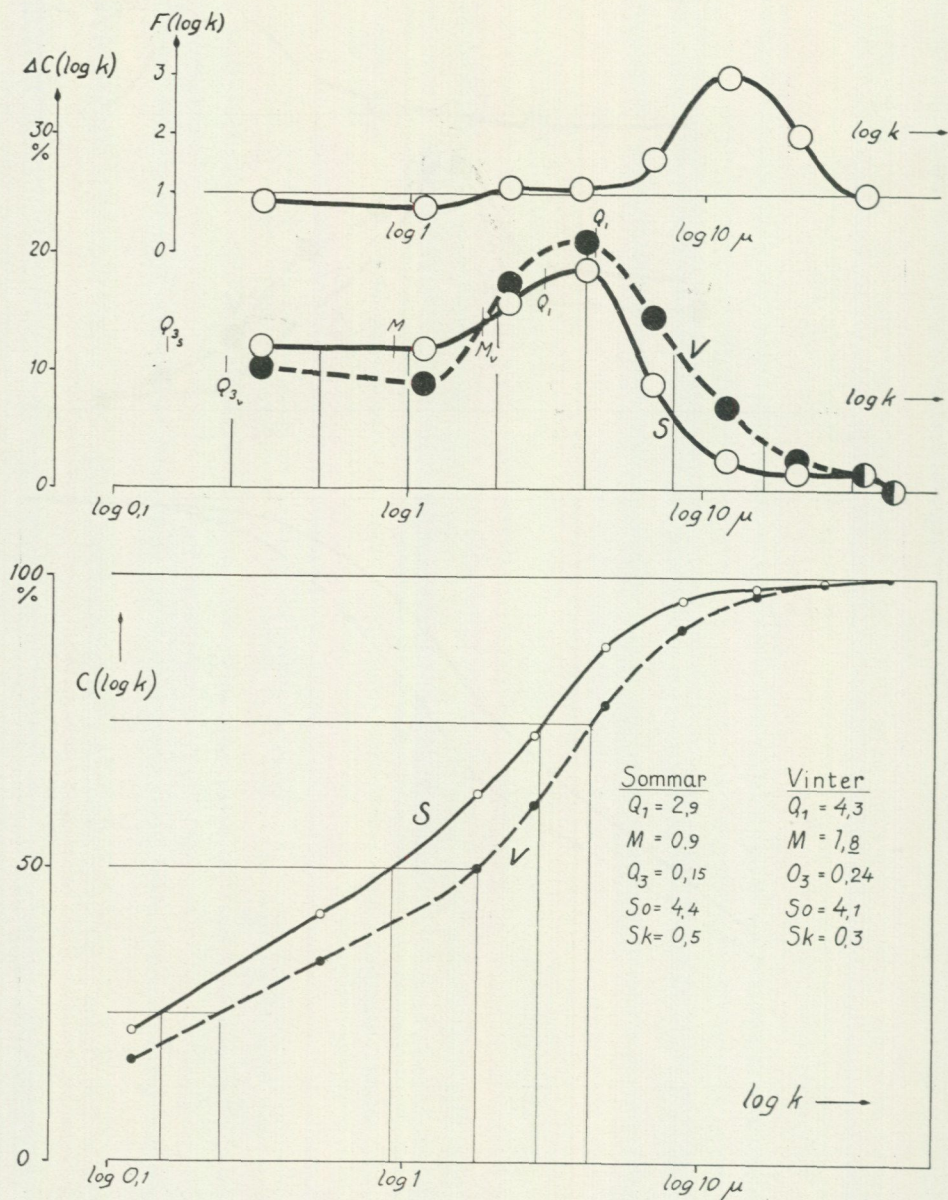


Fig. 16. Kornstorleksfördelningen i sommar- och vintermaterial av varvet H. Differentieringen mellan sommar- och vintersediment på grund av upplösning har här gått ännu längre än i de tidigare behandlade varven och ett sekundärt maximum antydes i vintersedimentets kolloidfraktion.

grovats, så att medianerna ligga vid 1,6—1,8 μ. För att underlätta jämförelsen mellan fördelningskurvorna har i fig. 15 och 16 inlagts även funktionen

$$F(\log k) = \frac{\delta_w}{\delta_s} \dots \dots \dots (13)$$

där δ_w är approximativa derivatan för $C(\log k)$ i vintersedimentet, d. v. s. ordinatan i dettas fördelningskurva, under det att δ_s är motsvarande ordinata i sommarsedimentets fördelningskurva. Ju större mängden av vintermaterial är i en fraktion i förhållande till mängden sommarmaterial, desto större blir medelvärdet av $F(\log k)$ inom fraktionens gränser. Funktionen ger således ett uttryck för mängdförhållandena mellan sommar- och vintersediment. För $F(\log k) > 1$ överväger mängden vintermaterial, för $F(\log k) = 1$ överensstämmer den med mängden sommarmaterial och för $F(\log k) < 1$ överväger denna.

Såsom framgår av figurerna, avviker vintermaterialets sammansättning från sommaraterialets mest i kornstorleksområdet omkring 10μ . Med avseende på mängden av de grövsta kornen överensstämmer de bägge årstidsskikten helt. Övervikten av mjåla i vintermaterialet minskar med avtagande kornstorlek och i bägge varven S och H uppnås jämvikt mellan $1,8$ och $2,7 \mu$. Inom lerfraktionen är sommaraterialet något rikligare representerat än vintermaterialet.

De förhållanden, som här påvisats, måste anses märkliga, om man utgår från den åsikten att glacialerans varvighet generellt beror på kornstorlekskillnader mellan sommar- och vinterleran, vilka skillnader skulle vara förorsakade av årsvariationerna i vattnets transportförmåga. En sådan sortering föreligger ju uppenbarligen i varvens proximala delar, och det kan måhända ligga nära till hands att tillämpa samma betraktelsesätt på det finare distalmaterialets som på proximalsedimentets avsättning. Förutsättningen för att detta skall vara tillåtet är, att det i kornstorlek varierande materialet är totaldispergerat under transporten. Om koagulation inträffar, kommer den att påverka alla partiklar upp till en viss gräns, koagulationsgränsen. Partiklar under denna gräns förekomma icke i fritt tillstånd utan bilda heterogena flockar, under det att korn större än koagulationsgränsen sedimentera självständigt och utsättas för sortering. Även dessa självständiga och snabbare fallande korn torde indirekt påverkas av koagulationen, eftersom de komma att röra sig genom ett diskontinuum och regelbundet uppfångas i koagulatflockar, ur vilka de mer eller mindre snabbt åter lösgöras av gravitationen.

När sedimentationspunktens avstånd från iskanten ökas lineärt, avtager kvadratisk storleken av den största partikel, som vid maximal strömhastighet kan nå punkten i fråga. När detta största kornstorleksvärde sammanfaller med koagulationsgränsen, upphör den för proximalområdet typiska skillnaden i kornstorleksfördelning mellan sommar- och vinterskikt i den varviga mærgeln. Förhållandet har schematiskt åskådliggjorts i tab. 6.

Den omständigheten att sommarsedimentet i varven S och H icke är grövre än vintersedimentet kan tydas antingen så att strömningshastigheten och därmed även sedimentmängd och maximikornstorlek i sedimentationspunkten varit konstanta under året eller också så att koagulationen utsträckt sig till att omfatta även mjålapartiklarna såsom skedde vid det på sid. 28 refererade försöket. Det förra alternativet förnekas av den omständigheten att vintermaterialet bevisligen varit utsatt för väsentligt starkare karbonatupp-

Tab. 6.

Sedimentationspunktens avstånd från isranden	4a	3a	2a	a	
Maximikornstorlek, vinter . .	k_w	k_w	k_w^2	k_w^4	
Maximikornstorlek, sommar .	k_s	k_s^2	k_s^4		
					Isrand
Vintermaterial	Koagulat	Koagulat	Fint	Medelgrovt	
Sommarmaterial	Koagulat	Fint	Medelgrovt	Grovt	
Facies	Distal	—————		Proximal	

Schematisk framställning av sedimentkaraktärens beroende av avståndet till isranden. Avståndet 4 a från isranden är så stort att t. o. m. de partiklar, som nå fram till sedimentationspunkten vid maximal strömhastighet äro alltför små för att kunna sedimentera självständigt. De nå därför botten i form av koagulat och det finnes ingen anledning, varför sommarkoagulatet skulle bestå av grövre partiklar än vinterkoagulatet. I 4 a upphör därför varvets sommar-material att vara grövre än vintermaterialet och varvsedimentet kan kallas distalt i enlighet med ordets här föreslagna definition. Trots avsaknaden av grövre material i sommarskiktet är sedimentets varvighet här ytterligt utpräglad, varför färgskiftningarna i mærgelvarven bevisligen icke behöva bero på grovleksskillnader i materialet.

Storleken av a är icke känd, men av det här undersökta materialet framgår att $a < 5$ km.

Varven X, S och H visa nämligen distalstruktur på c:a 20 km avstånd från motsvarande israndlägen.

lösning än sommaraterialet. Den funna kornstorleksfördelningen bekräftar sålunda antagandet om långtgående koagulation.

Att vintersedimentet är något grövre än sommarsedimentet är en naturlig följd av kalkupplösningsprocessen. Vid den kraftiga upplösningen av finfraktionen anrikas sedimentets grövre och mer svårangripbara beståndsdelar. Lerfraktionens minskning motverkas emellertid i någon mån genom det tillskott av svårlösligt finmaterial, som erhålles vid den visserligen mindre intensiva men dock märkbara nedbrytningen av sedimentets korroderbara mjälapartiklar. Samma fenomen uppträder i mycket utpräglad form vid lateritförvittring, i det att ett från början osorterat material nedbrytes till en residualjord med fördelningsmaxima i den grövsta och den finaste fraktionen. Varvmærgelns vintermaterial torde därför kunna karakteriseras såsom ett typiskt residualesediment, vars moderformation är moränens finfraktion.

I de undersökta årsvarven äro de mörka vinterskikten rikare på grovt material än de ljusa sommarskikten. Vintermaterialet är ett typiskt residualesediment, uppkommet genom kolsyrekorrosion av moränens finmaterial.

Undersökningen av sedimentets kornstorleksfördelning bekräftar jämte utflockningsexperiment ytterligare, att materialet vid transport och sedimentation har varit högradigt koagulerat. Den distala glacialmærgelns järgvarvighet är ett av kornstorleksvariationer oberoende fenomen.

IV. Sedimentets färg.

Om i ett prov av sommarmaterial kalken upplöses med utspädd klorvätesyra, blir leran något mörkare men den förlorar icke den typiska gråbruna till rödbruna färg, som starkt avviker från vintermaterialets gråbruna till gråsvarta färg. Det är således tydligt, att färgskillnaderna mellan sommar- och vinterskikt icke direkt förorsakas av kalkutlösningen.

Vid fraktionering av materialet kan en tydlig färgskillnad iakttagas mellan korngrupperna (tab. 7). Av tabellen framgår att sedimentets karakteristiska färg är knuten till finfraktionen. Denna iakttagelse har tidigare gjorts även av

Tab. 7.

Fraktion μ	Sommarskiktets färg	Vinterskiktets färg
Total	gråbrun—rödbrun	grå—gråbrun
> 5	grå—gråbrun	grå—gråbrun
5—1,5	vitgrå	vitgrå—grå
< 1,5	rödbrun—gråbrun	gråbrun—gråsvart

Färgen hos fraktioner av sommar- och vintermaterial ur varvet —783.

Odén och har av flera författare tytt så att färgen skulle vara förorsakad av skillnaderna i förmåga till ljusreflexion och ljusabsorption hos material av olika kornstorlek. Sommarskiktets finfraktion skulle sålunda vara väsentligt grövre än vinterskiktets, som därför i högre grad skulle absorbera ljusstrålningen.

Om man emellertid med ammoniumpersulfat oxiderar en suspension av vintermaterial samt centrifugerar och tvättar leran, antar den en färg, som för ögat är mycket svår att skilja från den något mörkare färgen hos obehandlad sommarlera från samma varv. Befrias sommarsedimentet från karbonater och oxideras, kan det överhuvud taget inte skiljas från det på samma sätt behandlade vintermaterialet.

Behandlas karbonatfritt sommarmaterial eller oxiderat karbonatfritt vintermaterial med ett kraftigt reduktionsmedel, t. ex. titantriklorid, erhåller det en mörkgrå—gråsvart färg, som liknar men ej helt överensstämmer med färgen hos den karbonatfria vinterleran. Av dessa försök kunna följande slutsatser dragas:

- 1) Färgskillnaden mellan sommar- och vinterskikt beror här icke på eventuella skillnader i dessas kornstorleksfördelning.
- 2) Vinterlerans färg kan a) antingen förorsakas av ett pigment, som övertäcker basens rödbruna färg och som förstöres vid oxidation b) eller av ett pigment, vars färg vid oxidation slår om från svart till rödbrunt.
- 3) En reduktion av det oxiderade materialet förefaller ej att återföra pigmentet i dess ursprungliga form.

För ytterligare undersökning av det färgande ämnets fördelning på olika kornstorlekar iordningställdes 0,5 % suspensioner av sommar- och vinterlera samt centrifugerades i kärl avsedda för sedimentrisk analys (fig. 17) (Arrhenius och Riehm). Efter 25 min. sedimentation vid en rotationshastighet av 3 500 v/min och med vätskeytan på 10 cm avstånd från vridningscentrum utflockades kolloiderna genom tillsats av kalciumnitrat, varefter proven centrifugerades ytterligare 10 min. Vid centrifugeringen (före utflockningen) sorterades materialet och sedimenterar med avtagande kornstorlek i kärlets graderade kapillär. Sedimentationskärlens form förorsakar störningar i avsättningsförloppet, vilka göra denna sorteringsmetod mindre lämplig för kvantitativa ändamål. Dess noggrannhet är emellertid fullt tillräcklig för den i detta fall avsedda undersökningen.

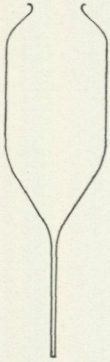
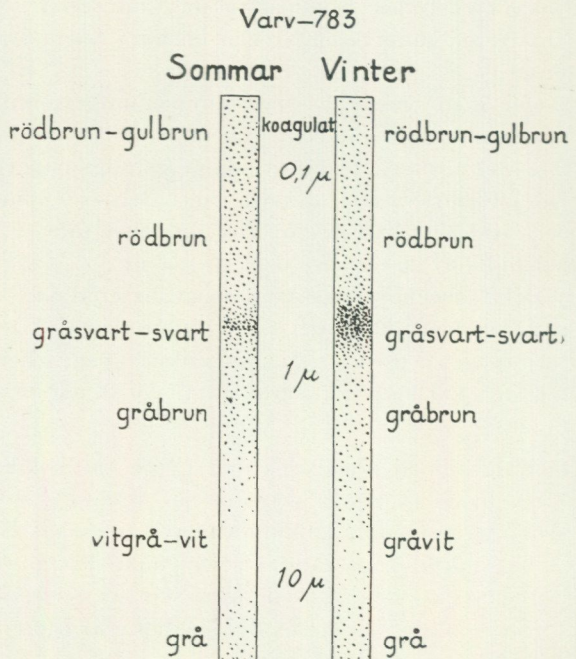


Fig. 17. Sedi-meter enligt Arrhenius-Riehm.

Att döma av de i fig. 18 visade resultaten förefaller det mörka pigmentet att bestå av relativt likstora korn eller att färga en förhållandevis snäv fraktion. Om pigmentet sedimenterat i form av självständiga korn, kunna dessa icke utan vidare förmodas vara av samma storlek som de omgivande mineralpartiklarna, då pigmentets specifika vikt ej är känd. Resultaten bekräfta, att pigmentet finnes även i sommarskiktet, ehuru i betydligt lägre koncentration än i vintersedimentet.

Med hänsyn till hittills vunna erfarenheter synas följande möjligheter vara de mest sannolika för förklaringen av färgskillnaden mellan de olika skikten:

Fig. 18. Färgfördelningen i de pelare av sorterade korn, som erhållits i sedimenternas kapillär vid centrifugering. Med kännedom om materialets kornstorleksfördelning ha pelarnas uppmätta dimensioner proportionerats efter den i bildens mitt angivna kornstorlekskalan. Det med kalciumnitrat utflockade koagulatet ($< 0,1 \mu$) är osorterat. Varvmärgelns mörka pigment (gråsvart—svart) inskränker sin färgverkan till en rätt snävt begränsad fraktion. Den mörkfärgade zonen uppträder även i sommarsedimentet, men är där ej så utpräglad som i vinterleran. Huruvida pigmentet föreligger såsom självständiga korn eller om det klär mineralpartiklarna och huruvida dess sp. v. väsentligt avviker från sedimentets medelvärde, är ovisst. Det kan därför icke sägas att de synliga färgande kornen ha en storlek, något mindre än 1μ utan endast att deras storlek är sådan att de sedimentera tillsammans med mineralkorn av denna storleksordning. Sommarmjälans vita färg förorsakas av kalken, som vid nedkrossning gärna antager en kornstorlek omkring 10μ .



- 1) Både sommar- och vinterskiktet färgas av rödbrun järn(3)oxid men vinterskiktet dessutom av svart järn(2)sulfid, som täcker ferrifärgen.
- 2) Vintersedimentet färgas av svart järn(2)oxid, som i sommarsedimentet i stor utsträckning är oxiderad till järn(3)oxid.
- 3) Mörkfärgningen orsakas av något annat pigment, exempelvis organisk substans, vars koncentration är lägst i sommarskiktet.

V. Sedimentets sulfidhalt.

Vid syrabehandling av vintersediment ur föreliggande material utvecklas så litet svavelväte, att det varken kan spåras med lukten eller som utfälld blysvulfid. Samma sak gäller den starkt svartfärgade finfraktionen av vinterleran i varvet —783. Mörkfärgningen kan således här ej förklaras genom tillräcklig koncentration av svaveljärn. En kvalitativ undersökning av uppsalamärgelns översta, tunnvarviga del visade emellertid att vinterskikten här innehålla avsevärda sulfidmängder. I den till synes oskiktade, karbonatfria, gråsvarta ancycluslera, som i uppsalatrakten överlagrar varvmärgeln kan varvighet, förorsakad av variationer i sulfidhalten, påvisas genom etsning med utspädd syra.

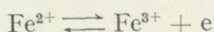
I uppsalatraktens varvmärgel göra sig årsvariationerna i sulfidhalt icke gällande förrän i mikrovarven. Färgvarvigheten i de makrodistala varven beror på någon annan faktor än sulfidhaltens variation.

VI. Sedimentets redoxpotential.

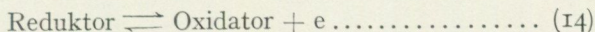
Förutsättningar och metodik.

Den möjligheten att färgskillnaderna inom årsvarven skulle kunna bero på varierande oxidationsgrad i sedimentet gjorde det av intresse att undersöka reduktions-oxidationspotentialen i varvens olika delar.

Enligt definitionen av begreppen reduktion och oxidation innebär det förra elektronupptagande och det senare elektronavgivande. Exempelvis kan ferrijonens reversibla oxidation till ferrijon skrivas:



eller allmänt



Nedsänkes en elektrod av en inert metall såsom guld eller platina i en lösning innehållande ett sådant jämviktssystem, uppstår mellan lösningen och metallen en potentialdifferens. Dennas storlek är beroende av lösningens elektronaktivitet, som i detta sammanhang kan sättas = elektronkoncentrationen c_e , så att om q_6 och q_7 är positiva konstanter

$$E = -q_6 \cdot T \cdot \log \frac{c_e}{q_7} \dots \dots \dots (15)$$

där T är absoluta temperaturen och E elektrodens redoxpotential. Den absoluta dimensionen av E kan icke mätas men väl $E - E_0$, där E_0 är den likaledes okända men konstanta potentialen hos en jämförelseelektrod, vanligen en tänkt vätgaselektrod med vätetrycket 1 atm, stående i jämvikt med en lösning, vars $\text{pH} = 0$. Skillnaden $E - E_0 = E_h$ är vad man i dagligt tal kallar redoxpotentialen för den lösning i vilken elektroden står. Eftersom E_0 är konstant, kan (15) skrivas

$$E_h = q_s - q_9 \cdot T \cdot \log c_e \dots\dots\dots (15 a)$$

där q_s och q_9 äro konstanter.

Av detta samband framgår, att ju lägre elektronkoncentrationen är, desto högre är redoxpotentialen. En sänkning av elektronkoncentrationen motsvarar i jämviktssystemet (14) en förskjutning åt höger. En starkt oxiderande lösning har således hög och en starkt reducerande låg redoxpotential.

Vid de här utförda mätningarna användes som positiv elektrod blank platina och som negativ en mättad kalomelelektrod. Potentialskillnaderna bestämdes med en Cambridge-potentiometer med avläsningsnoggrannheten $\pm 0,3$ mV. Vid varje försök användes tre platinaelektroder, vilka före och efter försöket kontrollerades genom potentialmätning i en kinhydronhaltig acetatbuffert.

Resultat.

Vare sig mätningen företogs i den orubbade leran, i en lersuspension eller i centrifugat, erhöles ingen konstant potential i det ögonblick, då elektroderna bragtes i kontakt med lösningen men med ökande tid avtog potentialändringen alltmer mot ett gränsvärde (fig. 19). Såsom ett praktiskt gränsvärde, E_t , för

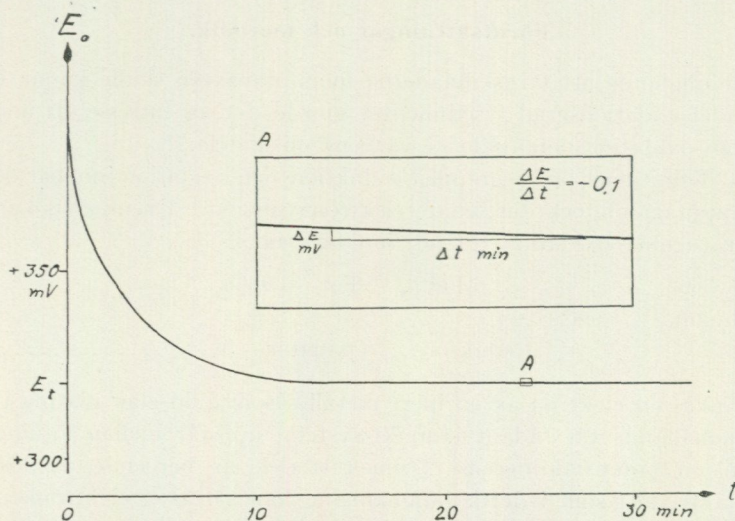


Fig. 19. Då elektroderna bringas i kontakt med redoxsystemet, erhålles icke ögonblickligen en konstant spänning, utan denna ändras sig med avtagande hastighet och går mot ett gränsvärde. Såsom approximativt gränsvärde antogs här den medelspänning, E_t , som rådde, då spänningsändringen under 10 minuter var 1,0 mV eller mindre.

Tab. 8.

Redoxpotentialen i prov från varvet -783. Den statistiska spridningen är definierad genom likheten $\sigma = \sqrt{\frac{\sum a^2}{n}}$ där σ är spridningen, a det enskilda värdets avvikelse från aritmetiska mediet och n är antalet värden. Om $\sigma \leq 1,0$ har potentialen ansetts vara definierad.

Sediment	Elektrod nr	A	B	C	D
		E_t mV	E_t mV	E_t mV	E_t mV
Vinter	1	+ 314	+ 319	+ 318	+ 317,5
	2	304	318	301	318,5
	3	305	320	307	318
Sommar	1	+ 298	+ 319	+ 315	+ 318
	2	309	317	299	318,5
Medeltal		+ 306	+ 318,6	+ 313,3	+ 318,1
Spridning		5,3	1,0	9,3	0,4
Tid för vätskans kontakt med sedimen- tet	2 min		3,5 tim.	3,5 tim.	} 3,5 tim.
Tid för upphettning av suspensionen..	—		—	—	
Tid för centrifugering	6 min		6 min	30 min	

potentialen har här använts det värde för E_h i millivolt, som gör $dE_h/dt \leq -0,1$ om t är tiden uttryckt i minuter. Motsvarande tidsvärde låg i allmänhet mellan 15 och 30 minuter.

Mätningar in situ i leran liksom i koncentrerade och utspädda suspensioner visade, att reproducerbara värden ej kunde erhållas för dessa system, även om suspensionerna fingo stå 24 timmar för jämviktsutbildning före mätningen. På grund härav försöktes i stället potentialmätning i vätskefasen, som frånskildes genom centrifugering av en 60 % lersuspension i destillerat vatten. För ändamålet användes en vinkelcentrifug med topphastigheten 10 000 v/min och centrifugradien 7—8 cm.

Försöksresultaten visa (tab. 8 A), att ingen definierad potential erhålles i lösningen, om den fasta och den flytande fasen bringas i kontakt med varandra under några få minuter.

Om däremot den fasta fasen får ställa sig i jämvikt med lösningen under några timmar, antager potentialen reproducerbart värde omkring + 319 mV för både sommar- och vinterleran (tab. 8 B).

Om centrifugeringstiden utsträcker till det femdubbla, antar redoxpotentialen åter ett obestämt värde (tab. 8 C), men om suspensionen före centrifugeringen upphettas till 90° C under några timmar, erhållas reproducerbara värden (tab. 8 D) även vid lång centrifugeringstid.

Slutligen visar tab. 9, att redoxpotentialen i en svagt svaveljärnhaltig ancycluslera är betydligt lägre än i glacialleran och miljön således mer reducerande.

Den slutsats, som framför allt kan dragas av dessa resultat, är att ingen skillnad på detta sätt har kunnat påvisas mellan sommar- och vintersedimentens oxidationstillstånd. Svaveljärnhalt i en lera resulterar i låg redoxpotential.

Tab. 9.

Redoxpotentialen i ancycluslera, som ger tydlig sulfidreaktion. Dispergerad i vatten 3,5 timmar, därefter centrifugerad under 25 min.

Parallell nr	E_t mV
1	+ 282
2	282,5
3	281
4	282
Medeltal	+ 281,5
Spridning	0,21

Den eventuella betydelsen av övriga vid försöken registrerade företeelser torde icke vara värd att diskuteras förrän dessas orsak och natur närmare klarlagts.

Undersökningen av varvmärgelns redoxpotential ger icke belägg för antagandet om årsvariationer i sedimentets oxidationstillstånd.

VII. Sedimentets järnhalt och järnets oxidationsgrad.

Förutsättningar.

De i föregående kapitel omtalade potentialmätningarna visa, att inga mätbara skillnader finnas mellan sommar- och vinterskiktets redoxpotential. Detta behöver emellertid icke nödvändigtvis innebära, att oxidationsgraden är densamma i varvens olika delar utan de oxiderade, resp. reducerade ämnena kunna föreligga i svårslöslig form. Kännedomen om de olika järnoxidernas fördelning i varven är därför av stort värde vid diskussionen av detta problem, ehuru det stundom kan vara svårt att avgöra, om oxidationen eller reduktionen ägt rum före, under eller efter sedimentationen.

Metodik.

Koncentrationen av ferrojärn bestämdes volumetriskt enligt metod angiven hos Kolthoff och Sandell. Provet löses härvid i fluorvätesyra och titreras i närvaro av borsyra i detta fall med kaliumdikromat och med natriumdifenylaminsulfonat som indikator. På grund av att oxidationspotentialen i systemet Fe^{2+}/Fe^{3+} avsevärt sänkes vid närvaro av fluoridjon i överskott, föreligger risk för att en del av ferrojärnet hinner oxideras under kokningen med fluorvätesyra. Ett antal parallellanalyser gjordes därför av samma prov för utrönande av medelfelet, varvid erhöles värdena i tab. 10.

Totaljärn bestämdes enligt Walden, Hammett och Edmonds. Provet upplöste med kaliumhydroxid och smältan upplöstes i klorvätesyra. I en Jones reduktor reducerades ferrijonen med silver till ferrojon, som titrerades med kaliumdikromat, som ovan angivits.

Tab. 10.

Bestämningar av ferrojärnhalten i paralleller av samma prov.

Analys nr	FeO %
1	2,34
2	2,31
3	2,33
4	2,27
5	2,33

Någon titrationskorrektion för oxiderbar organisk substans befanns icke vara påkallad.

Resultat.

Resultaten av järnanalyserna redovisas i tab. 11 och 12 samt i fig. 20 och 21. Av tab. 11 och fig. 20 c framgår, att kvoten $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, som ger ett uttryck för lerans oxidationsgrad, är underkastad mycket små variationer inom varvet, och att vintersedimentet t. o. m. är något kraftigare oxiderat än sommarsedimentet. Varvighetsföreteelsen är sålunda icke förorsakad av olik-

Tab. 11.

Järnhalt och oxidationsgrad i varvet —783. Lägsta provnummer motsvarar vinterskiktet. Värdena $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{korr}}$ och FeO_{korr} beteckna halten av järn, beräknad som vederbörande oxid, i karbonatfri substans.

Prov nr	Fe_2O_3 %	Fe_2O_3 % korr	FeO %	FeO % korr	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$
1	4,29	5,33	2,34	2,91	1,83
2	3,05	4,36	1,91	2,72	1,60
3	3,47	4,85	2,05	2,88	1,69
4	3,64	5,19	2,06	2,93	1,77
5	3,07	4,66	1,77	2,69	1,73
6	2,71	4,27	1,67	2,62	1,63
7	3,04	4,73	1,74	2,72	1,75

Tab. 12.

Oxidationsgrad och järnhalt i fraktioner av varvet —783. De korrigerade värdena ange halten i karbonatfri substans.

Kornstorlek inom fraktionen μ	Fe_2O_3 %		FeO %		Fe_2O_3 % korr		FeO % korr		$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	
	vint.	somm.	vint.	somm.	vint.	somm.	vint.	somm.	vint.	somm.
> 5	2,08	1,70	1,64	1,52	2,79	2,43	2,20	2,18	1,27	1,12
5—1,5	1,31	1,10	1,50	1,29	2,15	2,11	2,46	2,48	0,87	0,85
< 1,5	6,18	5,00	2,64	1,96	7,10	6,89	3,03	2,70	2,33	2,55

heter i sommar- och vintersedimentens oxidationstillstånd. Den absoluta halten av ferri- och ferrojärn varierar oregelbundet med årstiden, och variationerna äro tydligen icke sekundära anrikningsfenomen, försakade av kalkens upplösning (tab. 11 kol 3 och 5, fig. 20 b).

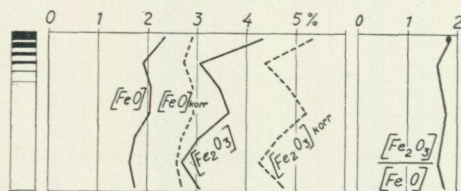


Fig. 20. Variationerna i ferro- och ferrijärnhaltin inom varvet —783. De korrigerade värdena äro beräknade på kalkfri substans. I synnerhet ferrijärnkurvas form påverkas föga av denna korrektion, och det är därför tydligen att de registrerade variationerna icke bero på järnanrikning genom kalkupplösning. Kvoten $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ utgör ett mått på sedimentets oxidationsgrad. Dennes och järnhaltens likformiga förändringar låta förmoda att järnhaltökningarna delvis bero på att havsvattnets ferrojoner oxiderats och utfällts som ferrihydroxid. Oxidationsgraden i vinterskiktet är icke lägre än i varvets övriga delar och vinterskiktets mörkfärgning försakas således icke av tvåvärt järn.

Tab. 12 och fig. 21 visa, att såväl totaljärnhalt som oxidationsgrad är betydligt högre i lerans finfraktion än i grovler och mjäla i varvet —783. Den starkt tegelröda färgen hos de allra finaste partiklarna (koagulatet i fig. 18), i synnerhet i sommarleran, antyder att även för partiklar $< 1,5 \mu$ järnhaltin och oxidationsgraden ökar med avtagande kornstorlek. En stor del av järnet i den varviga leran föreligger således i kolloidal form och är då kraftigt oxiderat.

Påfallande låg är ferrijärnhaltin i fraktionen $1,5-5 \mu$. Detta torde ha sin orsak i att fraktionen i fråga till stor del består av på ferrijärn fattig kalk, under det att i grovfraktionen mineral såsom kvarts, muskovit och olivin jämte fältspat, pyroxen och amfibol överväga i det undersökta varvet.

Järnhaltin beräknad både på karbonathaltigt och karbonfritt sediment är högre i vinterleran än i sommarleran. Förhållandet är ännu mer märkbart i varv med maximala skillnader mellan karbonatupplösningen under sommar och vinter. Så innehåller t. ex. vinterskiktet i varvet —767 20,4 % totaljärn mot 7,4 % i sommarskiktet, bägge värdena beräknade för karbonatfritt sediment. Sannolikaste förklaringen härtill synes vara en intensifierad järnhydroxidutfällning under vintern. Lerans höga halt av hydroxid i gelform behöver inte i och för sig tydas såsom försakad av järnutfällning under den finiglaciala sedimentationen utan kolloiden kunde eventuellt även vara av preglacialt ursprung. Sedd i samband med ökningen av sedimentets järnhalt under vintern bestyrker emellertid gelens förekomst antagandet om en med årstiden varierande järnutfällning under varvmärgelns sedimentation. Av tab. 12 och fig. 21 att döma sker nytillskottet av ferrijärn under vintern framför allt i lerans finaste och grövsta fraktion. Ferrihydroxiden torde därför ha förelegat dels som sol, dels som ett överdrag på de grövre mjälakornen. Ett sådant överdrag visar sig vid mikroskopisk undersökning vara vanligt på större partiklar av kvarts och fältspat men saknas på kalcit, vilket förklarar utfäll-

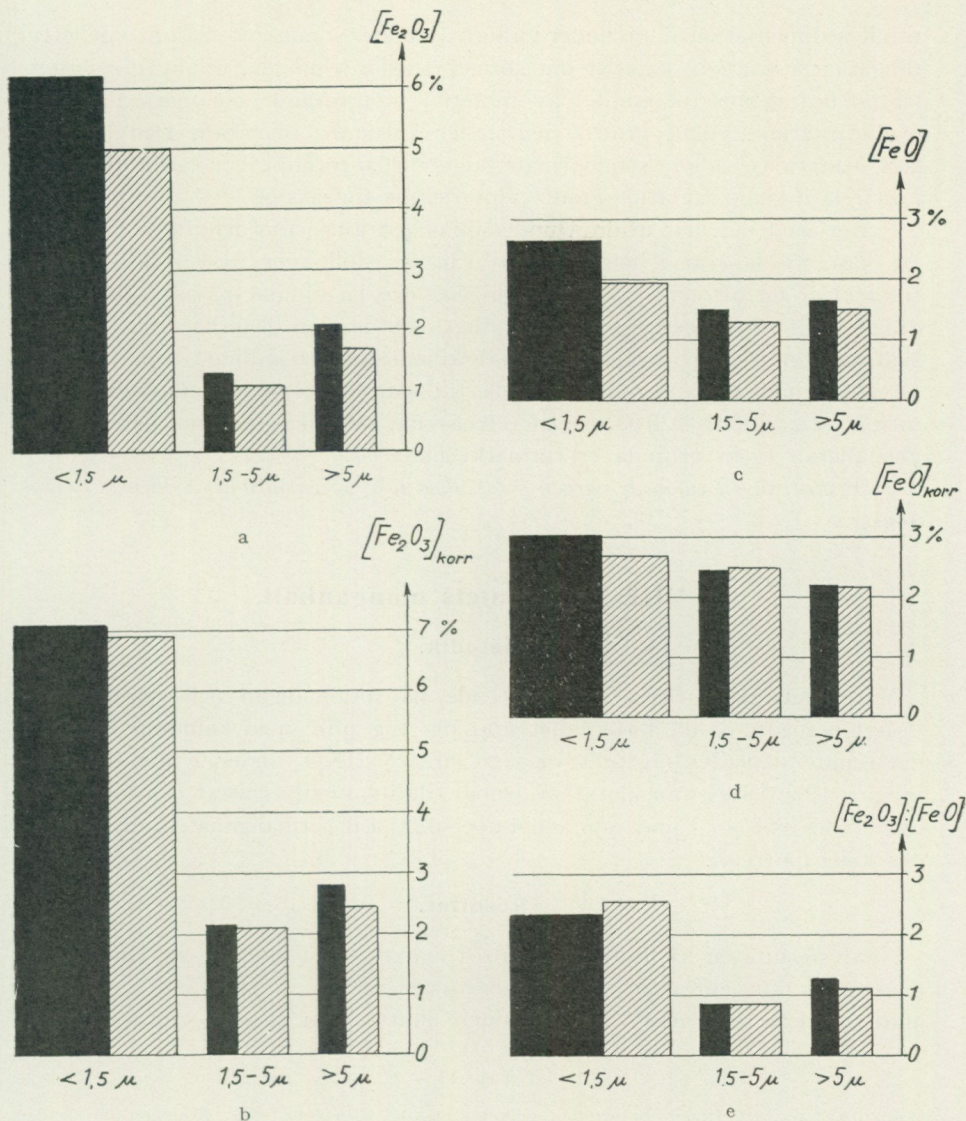


Fig. 21 a. Halten av trevärt järn i fraktioner av sommarmaterial (streckade fält) och vintermaterial ur varvet —783. Fig. 21 b. Sedimentets halt av trevärt järn, beräknad på karbonatfri substans. Fig. 21 c. Sedimentets halt av tvåvärt järn. Fig. 21 d. Sedimentets halt av tvåvärt järn, beräknad på kalkfri substans. Fig. 21 e. Järnets oxidationsgrad i fraktioner av sommarmaterial (streckade fält) och vintermaterial ur varvet —783. Järnmineralen i den kalkrika mellanfraktionen äro lågt oxiderade (siderit) och när de under vintern genom korrosion brytas ned till lera, kommer även denna att präglas av en relativt låg oxidationsgrad, ehuru en partiell oxidation säkerligen sker vid och efter nedbrytningen.

ningens låga intensitet i den kalkrika mellanfraktionen. Samma företeelse har iakttagits av Ellsworth och Wilgus.

Den höga halten av FeO och därmed den relativt låga oxidationsgraden i vinterskiktets finfraktion kunde möjligen tänkas antyda något mer reduce-

rande sedimentationsmiljö under vintern än under sommaren. Såsom emellertid tidigare påpekats i kapitlet om kornstorleksfördelningen, uppbygges vinterlerans finfraktion till en del av material motsvarande sommarsedimentets mellanfraktion, vilket brutits ned under kolsyrans inverkan. Den ovanligt låga oxidationsgraden i sommaraterialets mellanfraktion bör därför avspeglas i en relativt låg oxidationsgrad i vinterlerans finfraktion.

Syftet med den här utförda undersökningen av järnfördelningen har varit att klargöra färgvarvighetens natur och när skillnader i oxidationsgraden, tillräckliga för att förklara färgväxlingen, icke ha kunnat påvisas, ha övriga drag i järnfördelningen berörts rätt ytligt, och dess problem ha av utrymmes-skäl icke givits den ingående fysikalisk-kemiska behandling, som de skulle förtjäna. Uppmärksamheten bör emellertid fästas på de ur geokemisk synpunkt intressanta periodiska utfällningsföreteelserna, för vilkas studium den varviga glacialleran tycks erbjuda ett utmärkt material.

Färgskiftningen inom årsvarven förorsakas icke av variationer i järnets oxidationsgrad.

VIII. Sedimentets manganhalt.

Metodik.

Materialet undersöktes med avseende på totalmangan och salpetersyre-lösligt mangan. I det förra fallet uppslöts 1 g prov med kaliumhydroxid, i det senare skakades 1 g prov med 50 ml 2 N HNO₃ under 2 minuter. Lösningarna befriades från kloridjon genom tillsats av silvernitrat och manganet oxiderades vid 80° C med ammoniumpersulfat till permanganat, som bestämdes kolorimetriskt.

Resultat.

Analysresultaten ha framlagts i tab. 1 och 13 och i fig. 22—23. Det lösliga manganets koncentration varierar i varven —757, —758 samt —763 och äldre mycket regelbundet med årstiden ehuru inom ganska snäva gränser.

Tab. 13.

Manganhalten i fraktioner av sommar- och vinterskikt i varvet —783. Korrigerade värden avse manganhalten beräknad på karbonatfri substans. Värdena för Mn lösl. och Mn olösl. avse halterna av mangan lösligt, resp. svårösligt vid 2 min skakning av sedimentet med 2 N HNO₃ vid rumstemperatur.

Kornstorlek inom fraktionen μ	Mn, lösl. % ± 0,002		Mn, olösl. % ± 0,003		Mn, olösl. % korr.	
	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar
> 5	0,029	0,045	0,061	0,080	0,079	0,111
5—1,5	25	28	60	47	94	86
< 1,5	19	25	61	60	66	76

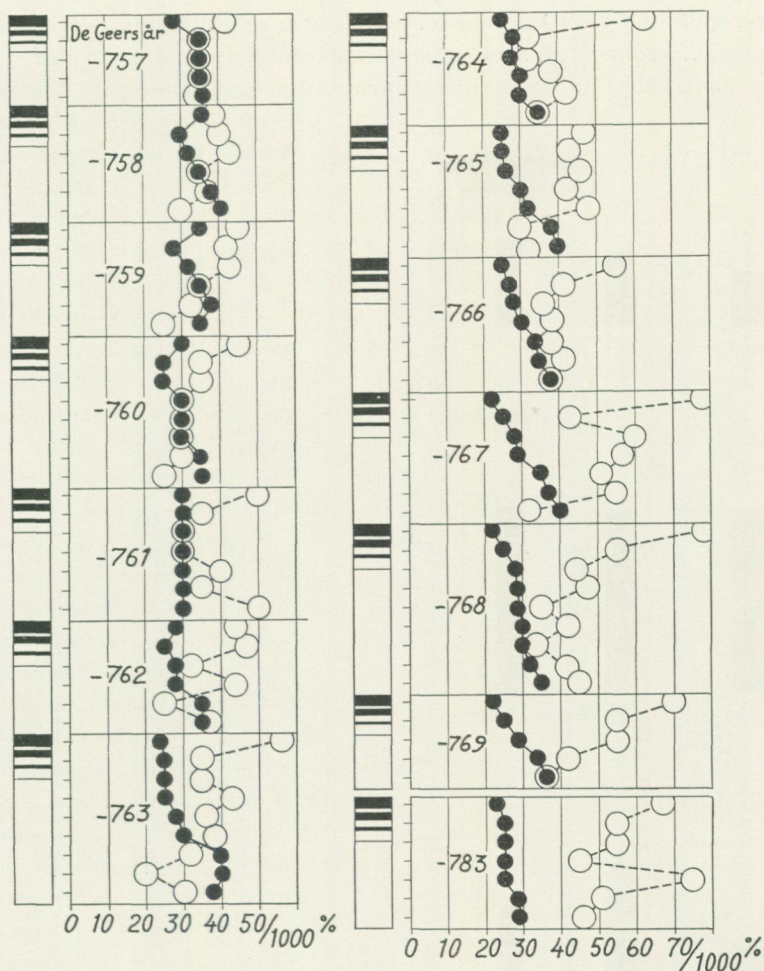


Fig. 22. Fördelningen inom årsvarven av i salpetersyra lösligt, (fyllda cirklar), resp. svårlöstligt mangan (ofyllda cirklar). Det lösliga manganet torde till stor del föreligga såsom karbonat och erfår på samma sätt som kalciumkarbonatet upplösning under vintern. Mangankarbonatets lägre löslighet gör dock att variationerna äro rätt små. Det svårlösliga manganets fördelning är delvis ett resultat av anrikning genom kalkupplösning.

Den största variationen i halt av lösligt mangan visar varvet —767 där $Mn_{max}/Mn_{min} = 1,8$, under det att motsvarande kvot för kalciumkarbonat är 11,8. Varven —759, —760 och —762 förete en oregelbunden fördelning, framför allt karakteriserad av manganhaltens stegring i vinterskiktets översta del. I varvet —761 slutligen är det lösliga manganet mycket jämnt fördelat.

Tab. 13 och fig. 23 visa att i varvet —783 halten av salpetersyrelöstligt mangan minskar med avtagande kornstorlek både i vinter- och sommarskiktet.

Korrelationskoefficienten för kalciumkarbonathalten i förhållande till halten av salpetersyrelöstligt mangan är för varven 757—769 = $+0,483 \pm 0,082$. Ett positivt samband föreligger således, ehuru inte särdeles utpräglat. De högsta

halterna av lösligt mangan finna vi följaktligen i de delar av varven och i de fraktioner av sedimentet, som äro mest karbonathaltiga. Det är därför sannolikt att huvuddelen av det lösliga manganet föreligger i form av manganspat,

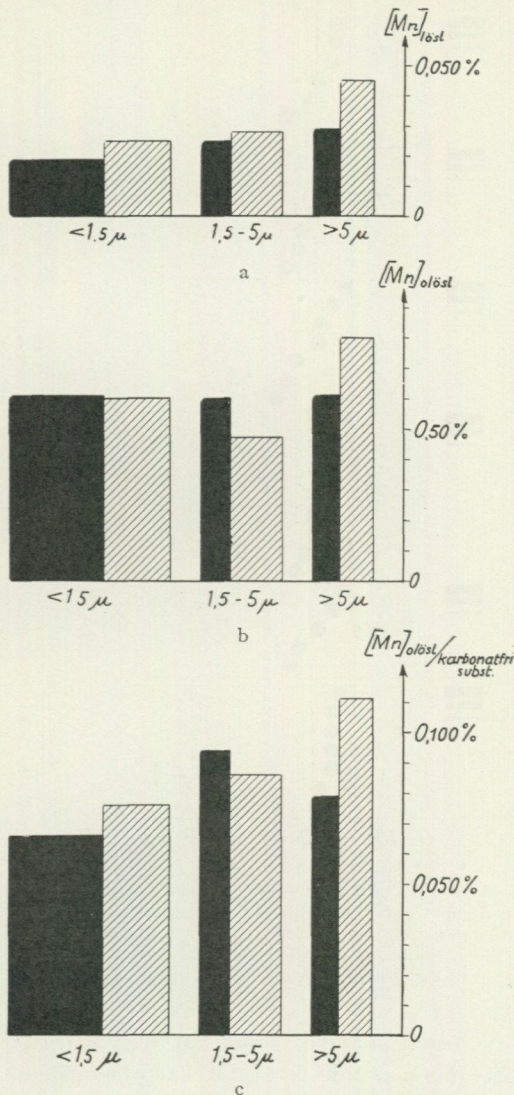


Fig. 23 a. Halten av lättlösligt mangan i fraktioner av sommarmaterial (streckade fält) och vintermaterial ur varvet —783. Fördelningsförhållandena bestyrka antagandet att lättlösligt mangan föreligger såsom mangankarbonat, vilket upplösts kraftigare i vinter- än i sommarsedimentet och i allt högre grad ju mindre partikelstorleken varit. Fig. 23 b. Halten av svårlösligt mangan i fraktioner av sommar- och vintermaterial ur varvet —783. Fig. 23 c. Halten av svårlösligt mangan i fraktioner av sommar- och vintermaterial ur varvet —783, beräknad på karbonatfri substans.

som i analogi med kalciten påverkas av upplösning i kolsyra. På grund av mangankarbonatets lägre löslighet blir dess upplösningshastighet mindre än kalciumkarbonatets.

Påfallande är att de grövsta kornen, särskilt i sommarsedimentet, ofta äro överdragna av en hinna av manganoxid (se även Ellsworth och Wilgus). Den höga manganhalten i sommarskiktets grovmjåla i varvet —783 (fig. 23) kan eventuellt stå i samband härmed. Då emellertid manganoxidernas olika löslighet i olika lösningsmedel är i hög grad beroende av oxidernas av bildningssätt m. m. avhängiga struktur, är det svårt att genom experimentell efterbildning lösa frågor av detta slag. Möjligheten till organogen tillförsel av svårlösligt mangan antydes genom den i vissa varv förekommande koncentrationsstegringen i de på organisk substans relativt rika vinterskikten. Att en recent mangananrikning genom fytoplankton pågår, framför allt i vissa arktiska sediment visas bl. a. av Thompson och Wilson.

För sambandet mellan halten av kalciumkarbonat och salpetersyreolösligt mangan (tab. 1 kol. 5 och tab. 13 kol. 4—5, fig. 23 b) i den undersökta glacialeran är korrelationskoefficienten = $-0,609 \pm 0,067$ och en relativt god omvänd proportionalitet råder således mel-

lan dessa bägge faktorer. Det ligger nära till hands att föra detta samband tillbaka på en anrikning av svårslösligt mangan vid kalkens upplösning. Under förutsättning att variationerna i halten av svårslösligt mangan helt och hållet vore att tillskriva anrikningseffekten, skulle mängden av svårslösligt mangan per viktsenhet kalkfri substans vara konstant. Att så icke är fallet, framgår ju redan av korrelationskoefficienten som under sådana förhållanden skulle vara = -1. (Tab. I kol. 6 och tab. 13 kol. 6—7 samt fig. 23 c visa fördelningen av svårslösligt mangan beräknat på kalkfri substans.) Andra faktorer än kalkupplösningen måste således bidra till uppkomsten av växlingarna i koncentrationen av svårslösligt mangan inom märgelvarven. Såsom sådana faktorer kunna förslagsvis nämnas fluktuationer i den ursprungliga mineralsammansättningen hos jökellävlslammet, i manganhydroxidutfällningen, i den metasomatiska omsättningen mellan fast kalciumkarbonat och fria manganjoner eller i tillförseln av organogent mangan. Föreliggande material tillåter knappast några slutsatser angående arten och graden av de ifrågakommande processerna.

Försök att genom potentiometrisk titrering bestämma manganets valens-tillstånd misslyckades på grund av den låga mangankoncentrationen.

Det i utspädd salpetersyra lösliga manganet i varvmärgeln tycks huvudsakligen föreligga i form av mangankarbonat och röner märkbar inverkan av upplösning i kolsyra. Växlingarna i halten av svårslösligt mangan är i första hand ett resultat av anrikning genom kalkupplösning, men även av andra, här ej undersökta faktorer.

IX. Sedimentets halt av organisk substans.

Förutsättningar.

Då ingen av de hittills utförda undersökningarna givit den direkta förklaringen till glaciallerans varvighet, kunde det förmodas, att den mörka lerans pigmentering förorsakas av organisk substans. Detta var desto mer sannolikt som det hade visat sig att man vid uppslutning av vinterlera med kaliumhydroxid erhåller en liten mängd mörkbrun—svart, vid oxidation försvinnande återstod, olöslig i saltsyra och fluorvätesyra men löslig i koncentrerad svavelsyra under mörkfärgning av denna. En undersökning gjordes därför av sedimentets halt av kol och kväve.

Metodik.

Kolbestämningen utfördes enligt Vesterbergs metod, modifierad av Tamm (1917), (Gripenberg, 1934). Den organiska substansen förbrännes vid lågt tryck och den utvecklade koldioxiden upptages i bariumhydroxid, som sedan titreras med klorvätesyra. Karbonater få icke vara närvarande och en stor metodisk svårighet ligger i att avlägsna dem utan att samtidigt påverka den organiska substansen. Wahnschaffe och Schucht rekommendera behandling med svavelsyrighet och indunstning av provet på vattenbad men Gripenberg

Tab. 14.

Analysvärden för sedimentets kolhalt, erhållna vid olika förbehandling av ett och samma prov.

	Parallell nr	[C] ‰	Analysvärde i % av analysvärdet för par. 1	Minimivärde för förlusten %
C _{total} —CCO ₃	1	4,5	100	0
Behandl. m. svavelsyrl. o. indunstn. i värme	2	3,1	69	31
Behandl. m. HCl i vacuum o. indunstn. i värme	3	3,3	73	27
Behandl. m. HCl i vacuum o. indunstn. i vacuum	4	4,4	98	2

(1934) påpekar att hon även vid användning av denna metod noterat förluster på ända upp till 20 % av totalmängden organisk substans. Då felet icke synes vara en funktion av totalmängden och då denna i föreliggande material är mycket liten, blir osäkerheten stor, om denna preparationsteknik användes.

I ett obehandlat prov bestämdes koldioxidutvecklingen vid förbränning samt vid karbonatbestämning enligt Vesterberg och skillnaden mellan dessa båda värden antogs vara \geq den koldioxidmängd, som bildats vid det organiska materialets förbränning (1 i tab. 14). Vidare bestämdes denna senare mängd, efter det att provet behandlats med H₂SO₃ under uppvärmning på vattenbad (2) samt efter det att karbonaterna upplöstes med 1 N HCl i överskott, under ett tryck av 4 mm Hg vid c:a 25° C (3). I båda dessa senare fall indunstades provet till torrhet på vattenbad vid c:a 60° C. Ytterligare en parallell (4) av provet behandlades med syra på sistnämnda sätt men indunstades till torrhet över konc. svavelsyra vid rumsstemperatur och vid 4 mm tryck samtidigt som överskott av klorväte upptogs i mättad kalilut.

Största förlusten tycks ske vid provets indunstning i värme och felet kan avsevärt nedbringas genom provets indunstning vid rumstemperatur.

Tab. 15.

Analysvärden för sedimentets kolhalt, erhållna vid parallellundersökningar av tre prov, A, B och C.

Parallell nr	Prov A [C] ‰	Prov B [C] ‰	Prov C [C] ‰
1	1,91	1,62	2,56
2	1,98	1,42	1,35
3	2,67	1,79	
4	2,12		
Medeltal	2,17	1,61	1,96
Enskilda värdets medel- avvikelse	± 0,20	± 0,10	± 0,57

Genom parallellundersökningar av några prover erhöles värdena i tab. 15, vilka ligga till grund för medelfelsberäkningen.

Kvävehalten i proven bestämdes med en modifierad mikrometod enligt Kjeldahl, varvid destillationen utfördes enligt Parnas och Wagner. 500 mg prov upphettades på sandbad med 2 ml konc H_2SO_4 i provrör 180 · 17 mm. Kvävet överföring i ammoniumsulfat katalyserades med några mg selen-syra och upphettningen fortgick 8 timmar. Provet gjordes alkaliskt med 30 % NaOH och ammoniakten destillerades över i 4 % borsyra. Denna titrerades därefter till neutralpunkten med indikator enligt Tashio.

Parallellbestämningar på ett och samma prov gävo de i tab. 16 införda resultaten.

Tab. 16.

Analysvärden för provens kvävehalt, erhållna vid parallellundersökningar av ett och samma prov.

Parallell nr	[N] ‰
1	0,598
2	570
3	579
4	591
5	603
6	580
7	615
8	605
9	612
10	598
Medeltal	0,595
Enskilda värdets medelavvikelse	±0,009

Den organiska substansens fördelning.

Försöksresultaten ha framlagts i tab. 17—19 och fig. 24—26. Av dessa framgår att halten av kol och kväve är väsentligt högre i vinterskiktet än i sommar-

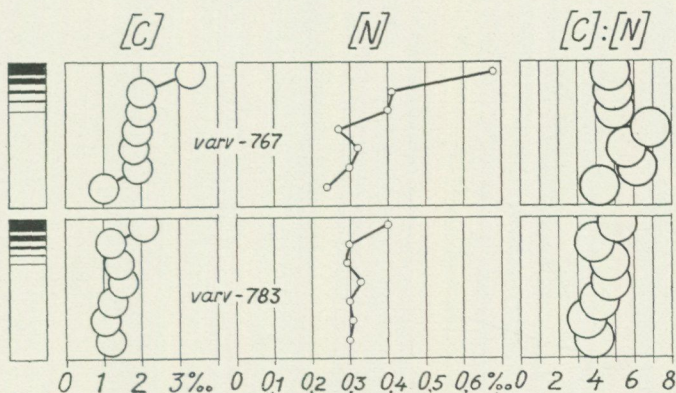


Fig. 24. Fördelningen av kol och kväve samt kvoten kol : kväve i två varv. Färgvarvigheten är mest utpräglad i varvet —767. Växlingarna i halten av mörk organisk substans äro orsaken till de undersökta märgelvarvens årsvarvstruktur. Cirklarnas diametrar svara mot analysfelets storlek.

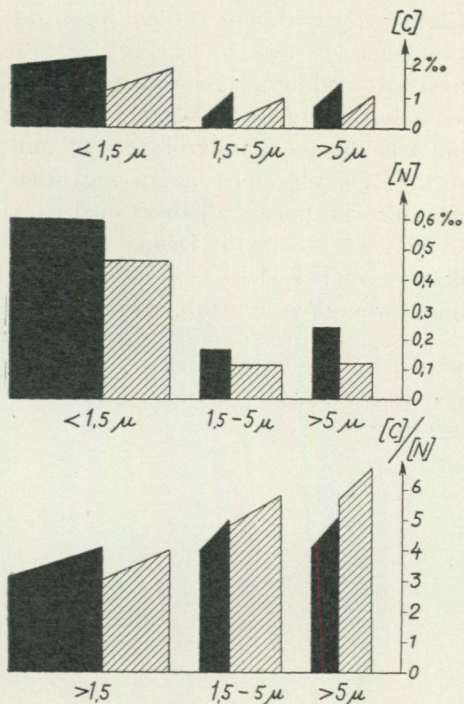


Fig. 25. Halten av kol och kväve samt kvoten kol:kväve i fraktioner av sommar- och vintermaterial (streckade fält) och vintermaterial ur varvet -783. Staplarnas sneda överkant markerar analysfelet. Den omständigheten att huvudmängden av organisk substans finnes i den mineraliska finfraktionen innebär att de organiska partiklarna i allmänhet ha en sådan storlek, form och specifik vikt, att de falla lika hastigt som mineralkorn med sp. v. 2,65 och ekvivalentdiametern $\leq 1,5 \mu$. Beträffande orsaken till att det finare organiska materialet är kväverikast är det svårt att f. n. säga något bestämt. En möjlighet kan måhända vara att det grövre organiska materialet domineras av mot mekanisk nedbrytning motståndskraftiga stycken av kvävefattiga skal och stödvävnader.

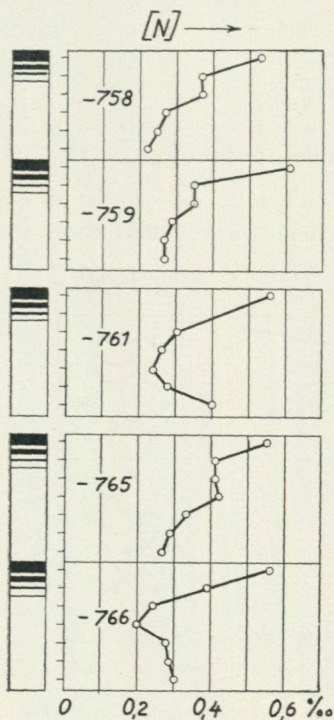


Fig. 26. Kvävehaltens variationer i fem varv. Samtliga visa mycket utpräglade färgskillnader mellan sommar- och vintermaterial.

Tab. 17.

Halten av kol och kväve samt kvoten kol/kväve i varven —767 och —783.

Lägsta provnummer motsvara varvens vinterskikt.

Årsvarv DG år	Prov nr	[C] ‰	[N] ‰	[C]/[N]	[N] _{max} /[N] _{min}
—767	1	3,27	0,680	4,8	
	2	1,98	407	4,9	
	3	1,99	401	5,0	
	4	1,89	272	6,9	2,8
	5	1,80	320	5,6	
	6	1,89	302	6,2	
	7	1,02	244	4,2	
Medelvärde				5,4 ± 0,23	
Enskilda värdets medelavvikelse				± 0,57	
—783	1	2,06	0,401	5,1	
	2	1,17	300	3,9	
	3	1,35	288	4,7	
	4	1,53	327	4,7	1,4
	5	1,24	303	4,1	
	6	1,05	305	3,5	
	7	1,18	303	3,9	
Medelvärde				4,3 ± 0,14	
Enskilda värdets medelavvikelse				± 0,35	
Medelvärde				4,8 ± 0,17	
Enskilda värdets medelavvikelse				± 0,60	

Tab. 18.

Halten av kol och kväve samt kvoten kol/kväve i fraktioner av varvet —783.

Kornstorlek inom fraktionen μ	[C] ‰		[N] ‰		[C]/[N]	
	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter	Sommar
> 5	1,10	0,71	0,239	0,115	4,6	6,2
1,5—5	0,75	0,62	165	116	4,5	5,3
< 1,5	2,17 ¹	1,61	595 ²	457	3,6	3,5

¹ medelvärde av 4 bestämningar² » » 10 »

Tab. 19.

Kvävehaltens variation inom årsvarven. I medelvärdet i kol. 4 äro inräknade även värdena från tab. 17. Lägsta provnummer motsvara vinterskikten.

Årsvarv DG år	Prov nr	[N] ‰	[N] _{max} /[N] _{min}	Årsvarv DG år	Prov nr	[N] ‰	[N] _{max} /[N] _{min}
—758	1	0,532	2,4	—765	1	0,549	2,0
	2	366			2	413	
	3	368			3	406	
	4	269			4	424	
	5	253			5	327	
	6	221			6	285	
—759	1	0,605	2,3	—766	7	270	2,8
	2	348			1	0,563	
	3	345			2	390	
	4	292			3	239	
	5	273			4	204	
	6	267			5	278	
—761	1	0,564	2,4	6	285	2,3 ± 0,3	
	2	—		7	297		
	3	303		Medelvärde.....			
	4	255					
	5	238					
	6	280					
	7	400					

skiktet. Kvoten $[N]_{\max}/[N]_{\min}$ är maximalt 2,8 i varvet —767 och minimalt 1,4 i varvet —783 samt i medeltal $2,3 \pm 0,3$. I —783 förekommer den organiska substansen rikligast i finfraktionen, där även relativa kvävehalten är högst (tab. 18, fig. 25).

Organogen och minerogen sedimentationsintensitet.

Flera faktorer kunna tänkas orsaka anrikningen av organiskt material i vintersedimentet. Den undersökta glacialleran består av åtminstone fem genetiskt skilda komponenter nämligen 1/ vätskefasen med till den fasta fasen i större eller mindre utsträckning adsorberade joner, 2/ vattentransporterat koagulat av moränens finmaterial mer eller mindre korroderat av kolsyra, 3/ istransporterat grovmaterial, 4/ vid sedimentationen utfälda ämnen främst ferrihydroxid och eventuellt kalcit samt 5/ organiskt material härrörande framför allt från plankton men troligen även från bottenorganismer (jämför Högbom, 1915). Variationer i tillförseln av var och en av dessa komponenter komma att påverka koncentrationen av organisk substans i sedimentet. Mätningarna av denna koncentration utfördes på torrt material, varför den relativa vattenhalten inte har något inflytande på resultaten. Variationerna i lervätskans salthalt kunna i detta sammanhang försummas. Mängden av utfäld järnhydroxid och

istransporterat material är i föreliggande prov relativt liten. Främst måste därför variationerna i tillförseln av glacifluvialt och organogent material samt eventuellt även i kalkutfällningen göras ansvariga för förändringarna inom varven i halten av organisk substans.

Den organiska produktionen i arktiska vatten kännetecknas av ett årligt maximum i planktonfrekvensen och planktonfloran karakteriseras framför allt av diatomacéer (Shirshov, Bogorov). I tempererade hav däremot förekomma två produktionsmaxima, ett under våren, förorsakat av diatomacéblomningen, och ett under hösten, då peridinéerna kraftigt öka i frekvens. Det senglaciala havet torde ha utmärkts av förhållanden, närmast jämförbara med recenta arktiska. Med utgångspunkt från de erhållna värdena för sedimentets halt av organisk substans och med kännedom om detaljerna i den minerogena sedimentationens årsperiodiska förlopp hade det varit möjligt att rekonstruera den organogena sedimenttillförselns variationer inom varven. Då emellertid endast de allmänna dragen av den minerogena sedimentationsintensitetens ändringar med årstiden äro kända, skulle en sådan rekonstruktion i förhandenvarande fall icke bliva tillräckligt entydig för att anses berättigad.

Förloppet av kurvorna för kvävehalten inom varven (fig. 24 och 26) visar att halten av organisk substans i sedimentet är störst när den minerogena sedimentationsintensiteten är minst och omvänt. Det är därför högst sannolikt att variationerna i halten av mörk organisk substans och därmed lerans färgvarvighet till övervägande del bero på att det organiska materialet under vintern i väsentligt mycket mindre grad än under sommaren spådes ut med minerogent material.

Med utgångspunkt från de här aktuella varvens dimensioner har medelintensiteten för mineral sedimentationen beräknats vara omkring 20 mg torrsubstans per cm² av botten och dygn. Sedimentets medelhalt av kväve är 0,035 %. Mängden organisk substans per viktsenhet minerogent material erhålles genom multiplikation av koncentrationvärdena för kol med det empiriska värdet 1,7 (se t. ex. Gripenberg 1934) eller kvävevärdena med 8,5 (med hänsyn till det i föreliggande material funna förhållandet mellan kol och kväve). Den undersökta varvmärgelns halt av organisk substans utgör sålunda i medeltal 0,3 % motsvarande en organogen sedimentationsintensitet av 0,06 mg/cm² och dygn. I postglaciala leror, där den minerogena sedimentationen varit mindre än 1 mm per år, d. v. s. omkring 40 gånger mindre än i de här undersökta varven, stiger halten av organisk substans till i medeltal 3—4 % (Gripenberg 1934, sid. 133) och är alltså endast vid pass tio gånger större än i de makrodistala märgelvarven. Man behöver sålunda icke a priori antaga att i varvlerans sedimentationsmiljö den organiska produktionen på något vis har stått tillbaka för produktionen i det postglaciala havet.

Att ur sedimentets halt av organisk substans beräkna den organiska produktionens storlek torde vara ogörligt, eftersom åtminstone under recenta, tempererade förhållanden mer än 99 % av den i havet syntetiserade organiska substansen nedbrytes på bakteriell väg innan den nått botten (Zo Bell).

Det organiska materialets sammansättning.

Vid nedbrytning av organisk substans under medverkan av mikroorganismer sker frigöringen av kväve i början snabbare än frigöringen av kol, varför kvoten av substansens kol- och kvävekoncentrationer kommer att sjunka (Waksman 1927). Så småningom uppnås emellertid en jämvikt beroende dels på att kolhydrat och fria proteiner undergått totalnedbrytning, dels på att återstående ämnen, t. ex. lignin, äro synnerligen motståndskraftiga mot enzympåverkan, dels slutligen på att kol och kväve i bestämda proportioner bindes genom mikroorganismernas syntetiserande verksamhet. Denna jämviktskvot är under samma betingelser anmärkningsvärt konstant men varierar under olikartade betingelser kraftigt. I tab. 20 ha några av olika författare funna medelvärden för kvoten C:N sammanställt med medeltalen för de kvoter, som kunnat beräknas av c:a 1 400 analysvärden med avseende på kol och kväve. Dessa värden föreligga i Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventeringsmaterial, som av överdirektör P. Geijer välvilligt ställts till förfogande.

Av tabellen framgår att karaktären av den organiska avlagringens moder-samhälle spelar en avsevärd roll för storleken av kvoten C:N. Denna influeras dessutom starkt av miljöfaktorer. Om man t. ex. jämför kvoterna (inom parentes i tabellen) för jordarter från det gotländska kalkområdet med motsvarande värden från urbergsområden, visar det sig att kalkområdets prover genomgående äro kväverikare. Huruvida avvikelser beror på skillnader i grundvattnets kalciumjonkoncentration, pH eller någon annan faktor skall här lämnas därefter. Det kan emellertid förmodas att det framför allt är miljöfaktorernas inverkan på bakteriefloras sammansättning, som utgör grundorsaken till de skiljaktiga värdena i slutbalansen mellan kol och kväve. Ett förhållande-likartat med det ovan relaterade, föreligger mellan kol-kvävekvoten i sphagnumtorv från ombrogena och soligena torvmarker. Tabellens värde, 59, hänfö sig till högmosstorv, under det att kvoten i sphagnumtorv från soligena mossor, ligger omkring 35. Ett betydelsefullt faktum är att torvens humifieringsgrad icke står i samband med kvoten C:N.

Proteolytiska bakterier äro mycket vanliga i havsvatten (Zo Bell). På grund av deras verksamhet äro enkla proteiner och aminosyror mycket sparsamt förekommande i marin humus (Trask, 1934), vars kväve till c:a 75 % torde föreligga i form av lignoproteiner och hemicellulosa-proteinkomplex (Waksman, 1933). Marint diatomacéplankton är relativt proteinrikt och dess äggvita nedbrytes mycket snabbt av hasvattnets bakterier (Waksman, m. fl. 1937). Redan tidigare har påpekats att av den stora mängd organisk substans, som syntetiseras i havet mer än 99 % hinner bakteriellt nedbrytas under sedimentationen, och det är därför omöjligt att av den organiska substansens koncentration i sedimentet draga några slutsatser om den absoluta storleken av produktionen.

Det undersökta materialet har visat sig vara exceptionellt kväverikt. Kvoten C:N är i varvet —767 i medeltal $5,4 \pm 0,23$, i varvet —783 $4,3 \pm 0,14$ och i medeltal för bägge varven $4,8 \pm 0,17$ (tab. 17). Såsom en jämförelse kan nämnas att medeltalet av samma kvot hos de tjugo vanligaste aminosyrorerna är 3,7.

Tab. 20.

Kvoten C:N i olika jordarter. De inom parentes angivna värdena för torvslag hänföra sig till prover från kalkområde (Gotland). Övriga värden för torvslag avse prov från urbergsområden.

Material	[C] : [N]	Arbete
Medeltal för 20 aminosyror	3,7	
Uppsalamärgel, varvet —783	4,3	Denna undersökning
» » —767	5,4	» »
Marina sediment från Nordamerikas ostkust, Spetsbergen och djuphavsbotten	8,1—14,9	Waksman (1933)
Representativa marina sediment från hela världen	8,4	Trask (1931, 1932 a)
Baltiska sediment	10,0	Gripenberg (1934)
Åkerjord, SV Finland	10	Aarnio hos Gripenberg (l. c.)
Oceaniskt sediment, 800—2 200 m djup	10,2	Boysen-Jensen
Bottensediment, Limfjorden	10,6—12,4	»
Lera, Kattegatt	11,5	»
Sand, Nordsjön	12,6	»
Bleke	(12)	Medeltal beräknat ur c:a 700 analyspar från SGU:s torv- inventeringsmaterial
Planktongyttja	16	»
Detritusgyttja	19 (18)	»
Sjödy	21	»
Agtorv	25 (23)	»
Starrtorv	25	»
Kärrody	29	»
Magnocaricetumtorv	29 (21)	»
Carex-Phragmitestorv	30	»
Kärrtorv	32 (24)	»
Björkmosstorv	32	»
Lövkärrtorv	33	»
Starrmosstorv	38 (31)	»
Skogsmosstorv	50	»
Sphagnumtorv	59 (40)	»

Inom fraktionerna av varvet —783 är kvoten högst i leran och skillnaderna mest utpräglade i sommarmaterialet (tab. 18, fig. 25).

Fil. lic. Tryggve Gustafson har haft den stora vänligheten att undersöka vintermaterial från varvet —766 med avseende på halten av fritt aminokväve enligt Van Slyke. Vid provets skakning under 30 timmar med dest. vatten vid 10° C utlöstes 0,05 mg fritt aminokväve per gram lera, vilket motsvarar 8 % av totala kvävemängden. Vid kokning under 24 timmar med 20 % ättiksyra hydrolyserades 25 % av totalkvävet. Varken vid ättiksyrehydrolysen eller vid dygnslång kokning med 20 % HCl kunde emellertid det mörkfärgande ämnet nedbrytas.

Den höga halten av stabila kväveföreningar i varvmärgelns organiska material kan bero på extraordinär sammansättning av dess modersamhälle eller på avvikelser från det normala förloppet vid dess nedbrytning. Den förra möjligheten förefaller föga sannolik. Den recenta arktiska planktonfloran sammansättes

till stor del av diatomacéer, men lämningar av sådana ha hittills i mycket liten utsträckning blivit funna i varvlera. Icke heller i föreliggande material kunde några diatomacéskal iakttagas vid mikroskopisk granskning av det obehandlade sedimentet. Vid en undersökning för mineralogiska ändamål av grovfractionen ur sommarskiktet i varvet —783 observerades emellertid tre eller fyra skal av cf *Melosira* sp och cf *Stephanodiscus* sp. Den antagna diatomacéfattigdomen i glacialeran torde dels vara att föra tillbaka på den höga glaciala sedimentationsintensiteten i förhållande till motsvarande intensitet under postglacial tid, dels på den omständigheten att kiselskalen under arktiska förhållanden i stor utsträckning tyckas upplösas under sedimentationen. Att en sådan upplösning äger rum antydes därav att såväl arktiska som antarktiska recenta sediment utmärkas av en fattigdom på diatomacéskal, vilken står i skarp kontrast till polarhavens kraftiga produktion av kiselalger (Böggild, Philippi, Stetson).

Mest sannolikt förefaller det att varvmärgelns höga kol-kvävekvot beror på speciella förhållanden i det organiska materialets förändringar under och efter sedimentationen. Vilka dessa förhållanden varit är svårt att visa med hjälp av det undersökta materialet, men förmodligen ha de varit beroende av den bakteriella verksamheten i sedimentationsmiljön. Undersökningar ha visat (Zo Bell, Bulkewitsch, Egorova), att bakterier förekomma även i högarktiskt havsvatten. Några bestämningar av bakteriefrekvensen i smältvatten från en inlandsis ha emellertid veterligen ej utförts. På sakens nuvarande standpunkt är det därför svårt att yttra något om orsakerna till den egenartade sammansättningen av den organiska substansen i varvmärgeln.

Koncentrationen av organisk substans varierar kraftigt och regelbundet i märgelvarven. Variationerna i halten av mörk organisk substans äro orsaken till de årsperiodiska skiftningarna i lerans färg. Den ifrågavarande organiska substansen är exceptionellt kväverik och kvävet föreligger till stor del i svårhydrolyserbar form.

X. Resultatens allmängiltighet.

I början av denna avhandling påpekades, att de resultat, som här framlagts i första hand gälla den speciella typ av glacial varvlera, som undersökningen berör och det tidsavsnitt, som materialet motsvarar. Klarläggandet av de generella dragen i glacialerans bildningssätt kräver därför dels en kompletterande regional undersökning, som obetingat måste vara av kvantitativ art, dels ytterligare experimentella undersökningar. I ett sådant sammanhang bör uppmärksamhet ägnas åt de fysikaliska betingelserna för uppkomsten av »diaktakt» och »symmikt» varvstruktur (Sauramo). Övergången från den förra till den senare strukturen innebär att färgkontrasten mellan sommar- och vinterskikt försvinner. Fältiakttagelser tala för att den symmiktta strukturen uppstår, då sedimentationen sker i saltvatten. Vidare ökar varvmäktigheten vid övergång från diaktakt till symmikt varvstruktur. Den till synes vedertagna uppfattningen är att vintermaterialet i diaktakta varv är så mycket finare än sommarmaterialet, att det på grund härav antager en väsentligt mörkare

färgton än detta senare. Vid sedimentation i saltvatten skulle det tidigare total-dispergerade materialet hastigt koagulera och bilda ett osorterat sediment, som just på grund av den bristande sorteringen saknar färgskillnader mellan sommar- och vinterskikt. I enlighet med här erhållna resultat torde emellertid den diatakta strukturens övergång i symmikt innebära att skillnaderna i halten av mörk organisk substans mellan sommar- och vinterskikt försvinna eller osynliggöras. Orsakerna härtill kunna på sakens nuvarande ståndpunkt endast gissningsvis angivas. Ehuru koagulationshastigheten säkerligen stegrats vid ökningen av vattnets salthalt (se t. ex. koagulationsförsök hos Gripenberg 1934) behöver ökningen av årsavsättningens mäktighet vid marin sedimentation icke uteslutande tillskrivas denna effekt. En ökning av sedimentets volym på grund av kolloidens stegrade hydratation blir nämligen följden av de flesta naturliga lerors sedimentation i vatten rikt på natriumjoner.

Då emellertid stora likheter finnas i varvlerans utbildning inom olika områden, föreligga starka skäl till att antaga långtgående överensstämmelser i betingelserna för sedimentets avsättning. Man torde därför med ledning av den inom ett speciellt område kända orsaken till en företeelse kunna med en viss grad av sannolikhet förutsäga motsvarande orsak inom ett annat sedimentationsområde. Det har därför ansetts vara av intresse att även diskutera allmängiltigheten av de slutsatser, som kunnat dragas av här föreliggande undersökningsresultat.

Möjligheterna för att även i mycket karbonatfattigt jökälävlslam en koagulation ägt rum, lika omfattande som i varvmärgelns sedimentationsmiljö, kunna teoretiskt anses föreligga, eftersom den höga kolsyrehalten och därmed vätejonkoncentrationen måste förmodas vara en generell egenskap hos inlandsisens smältvatten. Experimentella undersökningar av olika lerors dispersionsstabilitet under olika förhållanden äro emellertid ett grundvillkor för problemets lösning. För sedimentation i saltvatten gälla som ovan påpekats speciella samband.

Generellt gäller att i ju högre grad koagulationen gjort sig gällande, i desto större utsträckning bör sommarsedimentets relativa grovhet i förhållande till vintersedimentet avtaga i distala varvpartier. Det kan däremot ifrågasättas om korrosionen i karbonatfattigt isälvsmaterial någonsin kan bli så kraftig att vintersedimentet såsom i typiska märgelvarv blir grövre än sommarsedimentet. I det fall att koagulationsintensiteten genomgående befinnes vara av samma storleksordning i issjövatten, kan begreppet distalt glacialsediment givas en allmängiltig och kvantitativ innebörd. Det skulle i så fall beteckna det material, som uppbygger varvpartier, i vilka sommarskikten ha upphört att vara grövre än vinterskikten. Med hänsyn till de petrografiska skiljaktigheterna mellan varvens olika delar bör kornstorleksbestämningen ovillkorligen utföras genom mekanisk analys med tillförlitlig apparatur och med största uppmärksamhet riktad på dispersionsmetodikens avgörande betydelse för resultatens värde.

Varvlerans utseende i vissa fall låter förmoda, att järnhydroxidutfällningen eventuellt kan spela en bidragande roll vid färgningen av vinterskikten. När vidare en omvandling från ferri- till ferrojärn börjar spåras i glaciallerans yngre delar, tyder detta på förändringar i nedbrytningen av den organiska substansen,

vilka förändringar således kunna påvisas genom undersökning av järnets valenstillstånd. Även såsom indikator på redoxpotential och vätejonkoncentration i vattnet torde glaciallerans halt av olikvärda järn- och manganföreningar kunna ge värdefulla upplysningar om sedimentationsmiljön.

Om man förutsätter att Högboms sannolikhetsbevis för varvens allmänna karaktär av årsvarv är riktig, förutsätter man samtidigt att färgvarvighetens generella natur är densamma som i varvmärgeln. Det finns sålunda skäl att antaga att glacial färgvarvighet alltid förorsakas av årsvariationerna i sedimentets halt av mörk organisk substans, i yngre bildningar även åtföljda av variationer i sedimentets sulfidhalt. Arbete bör framför allt läggas ned på att bestämma strukturen av de föreningar, som tillsammans utgöra glaciallerans organiska substans. Att de yngsta varvens vinterskikt innehålla avsevärda mängder av svaveljärn behöver icke betyda, att det organiska materialets modersamhälle varit ett annat än vid bildningen av de makrodistala varven. Den organiska substansen i dessa innehåller säkerligen även svavel men förmodligen fortfarande organiskt bundet. Svaveljärnets uppträdande antyder därför snarast en förändring i det organiska materialets mikrobiella nedbrytning. En intressant möjlighet till studium av nedbrytningen av organiskt material av känd ursprungssammansättning i glacialleran erbjuda de lämningar av fiskar, sälar, valar m. fl. djur, som tillvaratagits i denna. Slutligen äro mikro-fossilerna i varvleran värda ett studium, dels med hänsyn till artfördelning, dels med avseende på organismresternas upplösning.

För hjälp och råd vid arbetets utförande står förf. i tacksamhetsskuld till fil. dr O. Arrhenius, vid vars laboratorium större delen av föreliggande undersökning utförts. För redoxpotentialmätning och kvävebestämning har professor J. Runnström välvilligt ställt apparatur och arbetsplats till förfogande vid Wenner-Grens institut för experimentell biologi, Stockholms högskola. Fil. lic. Tryggve Gustafson har haft vänligheten att bidra till undersökningen med den på sid. 65 omtalade bestämningen av fritt aminokväve i sedimentet. Vid granskning och diskussion av uppsatsens innehåll ha värdefulla inlägg gjorts av docent Stina Gripenberg samt av statsgeolog C. Caldenius, docent N. G. Hörner, laborator S. Landergren, statsgeolog G. Lundqvist, docent C. Mannerfelt och docent L. G. Sillén.

Till samtliga mitt tack.

The Varvity of the Glacial Clay. A Study of the Varved Marl in the Uppsala Region.

Summary.

The purpose of this investigation is to contribute to the knowledge of the origins of colour varvity in glacial clay. As a result of his investigations of varved marls in the Uppsala region, Högbom proved that the varvity is annual. On account of its high lime content it is well suited to the study of dissolution phenomena. For this reason varved marl from the Uppsala region was chosen for the present investigation. Material from the varves of De Geer's years —815 to —757 was used. The points of sedimentation that were investigated lie within 20—34 kilometers of the ice border.

The winter material in the marl varves shows dissolution by hydrocarbonic acid on a far greater scale than the summer material. This is ultimately due to the mud content of the sea water having been greater in the summer than in the winter. The velocity with which a calcite particle is dissolved during sedimentation depends mainly on the radius of the particle, the calcium ion concentration of the solvent, the state of movement and surface tension of the particle, and the formation of an amorphous Beilby layer on the surface of the particle. The interrelations of these factors have been derived for an ideal environment of sedimentation, corrected for the probable conditions of deposition and compared with the facts about lime dissolution and magnesium enrichment emerging from analyses of the sediment. This shows that the difference in lime dissolution between coarse and fine material is so small that it can not be assumed that the particles have sedimented independently, and the varved marl must therefore have been coagulated during sedimentation. This is further proved by coagulation tests conducted in water containing carbon dioxide, as well as by the grain size distribution in winter and summer layers. The pipette method was used in making the mechanical analysis. The results show that winter sediment which has been exposed to hydrocarbonic acid differs from the summer sediment in particular through its higher content of coarse material. As the carbonate mud is attacked by hydrocarbonic acid, especially during the winter, the fractions consisting of smaller particles, because of their larger surface per unit of weight, are dissolved quicker than the coarse ones, and the winter sediment therefore contains a higher proportion of coarse material. The clay fraction is the most rapidly decomposed, but it continuously receives new material which has been dissolved in the silt fraction. If, therefore, the corrosion is allowed to continue until all the easily soluble clay material has disappeared, the formation of new clay through decomposition of coarse material will pre-dominate and result in the formation in the ultra-clay of a new maximum in the distribution. The original silty clay has thus been reformed into a residual deposit having two maxima in the distribution — one in the coarse silt and one in the colloidal fraction.

The smaller particles have not been dispersed during sedimentation but have coagulated and sedimented as flocks composed of unsorted material. In those parts of the varves which are so far from the ice border that sand or coarse silt no longer pre-dominate, the material consists of coagulate and the summer sediment is thus no longer coarser than the winter sediment. This makes it possible to define the term »distal glacial sediment» as material forming those parts of the varves in which the summer sediment is no longer coarser than the winter sediment.

In spite of the fact that the winter sediment is somewhat coarser than the summer sediment in the distal parts of the marl varves, the varve structure due to colour difference is very strongly developed. The darkening which the powders of some minerals assume when ground down is feebler than the blackening in distal parts of the winter layer in typical so-called diatactic clay varves, and there is no justification for attempting such an explanation of the colour variations in the distal varves without quantitative proof. The latter phenomenon, at least so far as the marl is concerned, is quite independent of variations in grain size. This is also proved by other experiments undertaken. If, for instance, the winter material is oxidized it assumes a colour very closely resembling that of untreated summer material, and if both summer and winter material are freed from carbonates and oxidized, the final products can not be distinguished by colour. Further experiments show that the greater part of the pigment finds its way on sedimentation into the group of mineral grains with an approximate radius of 1μ . The pigment also occurs in the summer material although in a low concentration. The dark colouring in the macrodistal varves studied is not caused by iron(2)sulphide, nor is the degree of oxidation of the iron or the redoxpotential of the adsorbed solution lower in the darker layers than in the light ones. On the other hand the sulphide content is high in the winter layers of the thin micro-varves forming the top part of the marl. Sulphide varvity was proved through etching with hydrochloric acid even in apparently unstratified ancyclus clay.

The manganese in the varved marl, easily soluble in dilute nitric acid, is chiefly present as manganese carbonate and is noticeably affected by hydrocarbonic acid. As a result of this, sparingly soluble manganese is concentrated in the winter layers.

The distribution of dark organic matter in the sediment affords an explanation of the colour difference and resultant varve structure. This concentration varies with intensity of mineral sedimentation which is at its largest during the summer and diminishes rapidly during the winter. Thus the organic matter in the winter layer has not been diluted with mineral matter to such a great extent as that in the summer layer.

The organic matter in the varved marl is exceptionally rich in nitrogen, which occurs chiefly in compounds which are not easily hydrolyzed. In the environment of sedimentation of the varved marl, the changes in the organic material after the death of the mother-organisms did not occur in the same manner as under the post-glacial conditions investigated, possibly due to a different composition of the decomposing bacterial flora. The diatom frustules would appear to have been to a great extent dissolved during sedimentation, as is assumed to be happening in present arctic conditions.

The theories advanced here in respect of the varved marl of the Uppsala region can, to a certain extent, be directly applied to a general explanation of the origins of the varvity in glacial clay.

Litteraturförteckning.

- Adam, N. 1941. The physics and chemistry of surfaces. 3d ed Oxford Univ Press.
- Andreasen, A., & Lundberg, J. 1930. Ein Apparat zur Feinheitsbestimmung nach der Pipettenmethode. Ber Deutsch Keram Ges 11, 249.
- Antevs, E. 1925. Retreat of the last ice-sheet in eastern Canada. Can Geol Survey Mem 146. Ottawa.
- Arrhenius, O., & Riehm, H. 1926. Sedimetriscche Analysenmethode. Medd KVA Nobelinst 6, 14.
- Beilby, G. 1921. Aggregation and flow in solids. London.
- Berg, S. 1941. Untersuchungen über Korngrössenverteilung. Kolloid-Beih. 53, 5—10. Dresden u. Lpzg.
- Bergstrand, C. E. 1859. Några bidrag i geologiskt och agronomiskt hänseende till kändedom om den i Uppland förekommande mærgeln eller varviga leran. Tidskr f Lantmanna- och Kommunalekonomien. Upps.
- Berkey, C. P. 1905. Laminated interglacial clays of Grantsburg, Wis. Journal of Geology Vol 13, nr 1. Chicago.
- Bogorov, B. 1938. Biological seasons of the arctic sea. Comptes rendus acad sci URSS.
- Boysen-Jensen, B. 1914. Studies concerning the organic matter of the sea bottom. Rept Danish Biol Sta 22.
- Brenner, T. 1931. Mineraljordarternas fysikaliska egenskaper. Bull Comm Geol Finl, nr 94.
- Buch, K. 1945. Kolsyrejämvikten i Baltiska havet. Fennia 68 5.
- Bulkewitsch, V. S. 1939. Bacteria in the seas of the high latitude arctic regions. Comptes rendus acad sci URSS.
- Böggild, O. B. 1906. On the bottom deposits of the North Polar Sea. — Norw North Polar Exp, Scient Results, Vol V.
- Bäckström, H. 1921. Über die Affinität der Aragonit-Calcit-Umwandlung. — Ztschr phys Chemie, 97, 1—3.
- Chwala, A. 1930. Zerkleinerungschemie. Kolloid-Beih. 31, 222.
- De Geer, G. 1940. Geochronologia suecica, principes KVHA Ser 3, Bd 18 nr 6.
- Dundon, M., & Mack, E. 1923. The solubility and surface energy of calcium sulfate. J Am Chem Soc 45.
- Egorova, A. 1939. Thermophile bacteria in arctic. Comptes rendus acad sci URSS.
- Ellsworth, E., & Wilgus, W. 1930. The varved clay deposit at Waupaca, Wis. Trans Wis Acad vol 25. Madison, Wis.
- Erdmann, A. 1868. Bidrag till kändedom om Sveriges quartära bildningar. SGU Ser C nr 1. Sthlm.
- Fraser, H. I. 1929. An experimental study of varve deposition. Trans Roy Soc Can, Ser 3 vol 23, Parts I and II, Sect. IV. Ottawa.
- Freundlich, H. 1909. Kapillarchemie. Lpzg.
- Gallay, R. 1925. Beitrag zur Kenntnis der Tonkoagulation. Kolloidchemische Beihefte XXI, 7—12.
- Gedroiz, K. K. 1931. Die Lehre vom Adsorptionsvermögen der Böden. Dresden u. Lpzg.
- Goldschmidt, V. M. 1926. Undersökelse over lersedimenter. Nordisk Jordbrugsforskning. Oslo.

- Gripenberg, S. 1934. Sediments of the north Baltic and adjoining seas. *Fennia* 60, 3. Hfors.
- , 1939. Mechanical analysis. Recent marine sediments. The Am Ass of Petrol. Geologists, Tulsa. Oklahoma.
- Gustafsson, J. P. 1905. Über die Grenzlager des spätglazialen Bändertons in der Gegend von Uppsala. *Bull Geol Inst Ups* Vol 6.
- Hansen, S. 1940. Varvighed i danske og skaanske sen-glaciale Aflejringer. Med særlig Hensyntagen til Egersund Issøsystemet. — *D G U, R II*, nr 63. Khvn.
- Halla, F. 1935. Eine Methode zur Bestimmung der Änderung der freien Energie bei Reaktionen des Typus $A(s) + B(s) = AB(s)$ und ihre Anwendung auf das Dolomitproblem. — *Ztschr phys Chemie* 175.
- Hanson, G. 1932. Varved clays of Tide Lake, British Columbia. *Trans Roy Soc Can, Ser 3, Sect IV* Vol 26. Ottawa.
- Holmquist, P. J. 1898. Über mechanische Störungen und chemische Umsetzungen in dem Bänderthon Schwedens. *Bull Geol Inst Ups* Vol 3.
- Hulett, G. A. 1901. Beziehungen zwischen Oberflächenspannung und Löslichkeit. *Ztschr phys Chemie*, 37, 385.
- Högbom, A. G. 1889. Om relationen mellan calcium- och magnesiumkarbonat i de kvartära avlagringarna. *GFF* Bd 11. Sthlm.
- , 1898. Studier över de glaciala avlagringarna i Uppland. *GFF* Bd 14.
- , 1915. Om djurspår i den uppländska ishafsleran. *GFF* Bd 37.
- Hörner, N. G. 1947. A late glacial specimen of *Lucioperca lucioperca* and its environments. A study of some Upsala clay varves. — *Bull Geol Inst Uppsala*, vol XXXII. (Ej publ. vid tryckn. av föreliggande arbete.)
- Jennings, D, Thomas, M, & Gardner, W. 1922. A new method of mechanical analysis of soils. *Soil Sci*, 14, 485.
- Jørgensen, H. 1945. Redox-Maalinger. Khvn.
- Kindle, E. 1927. The rôle of thermal stratification in lacustrine sedimentation. *Proc Trans Roy Soc Can, Ser 3, Vol XXI, Sect IV*. Ottawa.
- , 1930. Sedimentation in a glacial lake. *Journ Geol*, vol 38.
- Kolthoff, I. & Sandell, E. 1943. Textbook of quantitative inorganic analysis. New York.
- Krauss, G. 1923. Neue Methode der mechanischen Bodenanalyse, etc. *Int Mitt Bodenk* 13, 147.
- Lundqvist, G, Hede, J. E. och Sundius, N. 1940. Beskrivning till geologiska kartbladet Visby och Lummelunda. — *SGU ser Aa* nr 183.
- Mannerfelt, C. 1945. Några glacialmorfologiska formelement. *Geogr Ann*, 1—2.
- Mattson, S. 1929—32. The laws of soil colloidal behaviour. *Soil Sci*, 28 and 33.
- Mecklenburg, W. 1925. Über Schichtenfiltration, ein Beitrag zur Theorie der Gasmaske. — *Ztschr f Elektrochem u angew phys Chemie*, Bd 31, nr 9.
- Müller, H. 1926. Die Theorie der Koagulation polydispenser Systeme. *Kolloid-Z.* 38, 1.
- Nernst, W. Theoretische Chemie. 8.—10. uppl.
- Norin, E. 1946. Geological explorations in Western Tibet. — *Rep Sino-Swedish exp*, ser III, vol 7.
- Noyes, A. & Whitney, W. 1897. The rate of solution of solid substances in their own solutions. *J Am Chem Soc*, 19, 930—934.
- Odén, S. 1915. Eine neue Methode zur mechanischen Bodenanalyse. *Int Mitt Bodenk*.
- , 1916. Studien über Tone I. *Bull Geol Inst Ups*, Vol XV.
- Ostwald, W. 1900. Über die vermeintliche Isomerie des roten und gelben Quecksilberoxyds und die Oberflächenspannung fester Körper. *Ztschr. phys Chem*, 34.

- Parnas, J. K. 1938. Über die Ausführung der Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl in der Modifikation von Parnas und Wagner. *Ztschr Analyt Chem*, 114.
- Philippi, E. 1910. Die Grundproben der deutschen Südpolar-Expedition Bd II, H 6. Bln.
- Quinn, E. L. och Jones, C. L. 1945. Carbon dioxide. — New York.
- Robinson, G. W. 1922. A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. *J Agric Sci*, 12, 306.
- Sauramo, M. 1923. Studies on the quaternary varve sediments in southern Finland. *Bull Comm Géol Finl*, nr 60. Hfrs.
- Sayles, R. W. 1924. Report of progress of studies on seasonal deposition in glacial sediments. Report of the Committee of Sedimentation.
- Shirshov, P. 1938. Oceanological observations. *Comptes rendus acad sci URSS*.
- Smoluchowski, M. 1916. Drei Vorträge über Diffusion Brownsche Molekularbewegung und Koagulation von Kolloidtheilchen. *Physik. Z*, 17, 557.
- Stetson, H. C. 1933. The bottom deposits. — Scient results of the Nautilus Expedition, 1931, Vol II, nr 3. Woods Hole Oceanographic Institution.
- Tamm, O. 1917. Om skogsjordsanalyser. *Medd från Statens Skogsförsöksanstalt*, H 13—14. Sthlm.
- , 1925. Experimental studies on chemical processes in the formation of glacial clay. *SGU*, ser C, nr 333, årsb 18, nr 5. Sthlm.
- , 1928. Några experimentella rön belysande den glaciala lerbildningen. *GFF* Bd 50. Sthlm.
- , 1929. An experimental study on clay formation and weathering of felspars. *Medd Statens Skogsförsöksanstalt*, H 25, nr 1. Sthlm.
- Tarr, W. 1935. Concretions in the Champlain formation of the Connecticut river valley. *Bull Geol Soc Am*, Vol 46, nr 10. Wash.
- Thompson, Th. & Wilson, Th. 1935. The occurrence and determination of manganese in sea water. *J Am Chem Soc* 57, 233.
- Trask, P. 1931. Sedimentation in the Channel Islands Region, California. *Econ Geol*, XXVI, nr 1.
- , 1932 a. Origin and environment of source sediments of petroleum. *Gulf Publ Comp*, Houston, Texas.
- , 1932 b. The sediments. The Marion expedition to Davis Strait and Baffinland. *Scient Results*, Part 1, Chapter III, Wash. D. C.
- , 1934. Deposition of organic matter in recent sediments. *Probl of Petrol Geol Amer Ass Petrol Geol*, Tulsa, Oklahoma.
- Tuorila, P. 1927. Über orthokinetische und perikinetische Koagulation. *Kolloidchem. Beihefte*, Bd 24, H 1—4.
- Uddén, J. A. 1898. The mechanical composition of wind deposits. *Augustana Library Publication*, nr 1, sid. 65.
- Wahnschaffe, F. och Schucht, F. 1924. Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung. Bln.
- Waksman, S. 1927. Principles of soil microbiology. London.
- , 1933. On the distribution of organic matter in the sea bottom and the chemical nature and origin of marine humus. *Soil Sci*, 36.
- Waksman, S. Stokes, J. & Butler, M. 1937. Relation of bacteria to diatoms in sea water. *Journ Mar Biol Ass*, 22.
- Walden, G. Jr, Hammett, L. & Edmonds, S. 1934. Phenatrolin-ferrous iron. III. A silver reductor. The direct determination of iron in the presence of vanadium. — *J. Am Chem Soc* 56, 350.
- Wallace, R. 1927. Varve materials and banded rocks. *Trans Roy Soc Can*, Sect 4.
- Wattenberg, H. 1936. Kohlensäure und Calciumcarbonat im Meere. *Forstchr d Min Krist u Petr*. Bd XX, sid 168.

- Wentworth, C. K. 1922. Grade and class terms for clastic sediments. *Journ Geol*, 30, 377—392.
- Vesterberg, A. 1911. Über einige Analysenmethoden für Bodenuntersuchungen. *Verh d. 2. Intern Agrogeologenkonferenz*. Sthlm.
- Wiegner, G. 1926. Dispersität und Basenaustausch. *Actes de la IVe: conférence internationale de pédologie à Rome*. Vol II. Rom.
- Zenzén, N. 1934. Uppgifter om varvig lera i vår äldre litteratur. *GFF* bd 56.
- Zo Bell, C. 1946. *Marine microbiology*. Waltham, Mass.
-

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNINGS SENAST
UTKOMNA PUBLIKATIONER ÄRO:

Ser. Aa. Geologiska kartblad i skalan 1 : 50 000 med beskrivningar.

	Pris kr
N:o 175 <i>Nya Kopparberget</i> av N. H. MAGNUSSON och G. LUNDQVIST 1932	4,00
» 176 <i>Storvik</i> av B. ASKLUND och R. SANDEGREN 1934	4,00
» 177 <i>Grängesberg</i> av N. H. MAGNUSSON och G. LUNDQVIST 1933	4,00
» 178 <i>Gävle</i> av R. SANDEGREN, B. ASKLUND och A. H. WESTERGÅRD 1939	4,00
» 179 <i>Forshaga</i> av R. SANDEGREN och N. H. MAGNUSSON 1937	4,00
» 180 <i>Fårö</i> av H. MUNTHE, J. E. HEDE och G. LUNDQVIST 1936	4,00
» 181 <i>Smedjebacken</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1937	4,00
» 182 <i>Lidköping</i> av S. JOHANSSON, N. SUNDIUS och A. H. WESTERGÅRD 1943	4,00
» 183 <i>Visby och Lummelunda</i> av G. LUNDQVIST, J. E. HEDE och N. SUNDIUS 1940	4,00
» 184 <i>Hedemora</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1941	4,00
» 185 <i>Horndal</i> av R. SANDEGREN och B. ASKLUND 1943	4,00
» 186 <i>Möklinta</i> av R. SANDEGREN och B. ASKLUND 1946	4,00
» 188 <i>Avesta</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1946	4,00

Årsbok 37 (1943)

N:o 452 ÖDMAN, OLOF H., Geology of the copper deposit at Laver, N. Sweden. With 2 plates. 1943	1,00
» 453 HJELMQVIST, SVEN, Die Natronreiche Randzone des Granitmassivs nördlich von Smedjebacken in Dalarna. Ein Beitrag zum Studium der Granitbildung. 1943	1,00
» 454 GAVELIN, SVEN, On the distribution of metals at Rävliiden, N. Sweden, and in some other copper-zinc ores. 1943	1,00
» 455 THORSLUND, PER, Gränsen ordovicium—silur inom Storsjöområdet i Jämtland. Summary: The Ordovician—Silurian boundary in the Jemtland Storsjön area. 1943	1,00
» 456 LARSSON, W., Zur Kenntnis der alkalinen ultrabasischen Ganggesteine des Kalixgebiets, Nordschweden. 1943	1,00
» 457 LUNDQVIST, G., Norrlands jordarter. Med 2 tavlor. 1943	3,00
» 458 WICKMAN, F. E., A graph for the calculation of the age of minerals according to the lead method. With one plate. 1944	1,00

Årsbok 38 (1944)

N:o 459 WESTERGÅRD, A. H., Borrningar genom Skånes alunskiffer 1941—42. Med 6 planscher. Kemiska analyser av G. Assarsson. Spektralanalyser av S. Landergren. Summary and description of fossils. 1944	3,00
» 460 SUNDIUS, NILS, On the substitution relations in the amphibole group. 1944	0,50
» 461 JOHANSSON, S., Om jord och vatten på Lanna försöksgård. 1944	1,00
» 462 ASSARSSON G., Torrsubstansstillgång och vattenhalt i torvmarker i södra Sverige. 1944.	1,00
» 463 WESTERGÅRD, A. H., Borrningar genom alunskifferlagret på Öland och i Östergötland 1943. Med 2 planscher. Kemiska analyser av G. Assarsson. Spektralanalyser av S. Landergren. Summary: Borings through the alum shales of Öland and Östergötland made in 1943. 1944	2,00
» 464 GRIP, E. and ÖDMAN, O. H., On Thucholite and natural gas from Boliden. 1944	1,00
» 465 BROTZEN, F., De geologiska resultaten från borrningarna vid Höllviken. Prel. rapport. Del 1. Kritan. Med 4 planscher. Summary and description of Foraminifera. 1945	2,00
» 466 LARSSON, W., Zur Kenntnis der spätglazialen Eisbewegungen westlich des Wenersees, Schweden. 1945	1,00
» 467 DU RIETZ, T., The alteration of the rocks in the copper deposit at Laver in N. Sweden. 1945	2,00

Årsbok 39 (1945)

N:o 468	GABRIELSON, OLOF, Studier över elementfördelningen i zinkbländen från svenska fyndorter. Summary: Studies on the distribution of element in Swedish Sphalerites. 1945	2,00
» 469	GAVELIN, SVEN, Arsenic-cobalt-nickel-silver veins in the Lindsköld copper mine, N. Sweden. 1945	0,50
» 470	ÖDMAN, O. H., A Nickel-cobalt-silver-mineralisation in the Laver copper mine, N. Sweden. 1945	0,50
» 471	LUNDQVIST, G., Dubbla moränen i Boliden. 1946.	0,50
» 472	WERNER, S., Determinations of the magnetic susceptibility of ores and rocks from Swedish iron ore deposits. 1945	3,00
» 473	KULLING, O., Om fynd av mammut vid Pilgrimstad i Jämtland. Med en inledning av Per Geijer. Summary: On the find of mammoth at Pilgrimstad in Jämtland. 1945	2,00
» 474	GRIP, E., Arvidsjaurfältet och dess förhållande till omgivande berggrund. Med en karta. Summary: The Arvidsjaur district and its relation to surrounding rocks. 1946	2,00
» 475	SUNDIUS, N., The composition of Eckermannite and its position in the amphibole group. 1946	0,50
» 476	CALDENIUS, C., Skredet vid Sävån den 18 januari 1945. Med en plansch. Summary: A landslide on the river Sävå 18th Jan. 1945. 1946	0,50

Årsbok 40 (1946)

N:o 477	WESTERGÅRD, A. H., Agnostidea of the Middle Cambrian of Sweden. With 16 plates. 1946.	5,00
» 478	LUNDQVIST, G., Blekingemoränens blockhalt. 1946.	1,00
» 479	ASKLUND, B., Svenska steuindustrialområden 1—2. Gatsten och kantsten 1. Allmän översikt. 2 Specialundersökning av det för 1937 års granitutredning insamlade materialet. Med 9 tavlor och 8 planscher. 1947	5,00
» 480	SUNDIUS, N., The classification of the hornblendes and the solid solution relations in the amphibole group. 1946	2,00
» 481	MUNTHE, H., Nya bidrag till kännedomen om Härnögtytjan. 1946	1,00

Årsbok 41 (1947)

N:o 482	ALIN, J. †, och SANDEGREN, R., Dösebackaplatån. Geologisk beskrivning av fyndorten för mammut och myskoxe vid Dösebacka, Romelanda socken, Bohuslän. Med en karta av H. Ryfors 1947	1,00
» 483	WESTERGÅRD, A. H., Nya data rörande alunskifferlagret på Öland. Kemiska analyser av G. Assarsson. English Summary. 1947	0,50
» 484	LUNDEGÅRDH, P. H., Den ultrabasiska gabbroen i Roslagen. Summary: The ultrabasic gabbro of Roslagen, Central Sweden. Med en plansch. 1947	1,00
» 485	HÄGG, R., Die Mollusken und Brachiopoden der schwedischen Kreide. Das Kristianstadsgebiet. 1947	3,00
» 486	ARRHENIUS, G., Den glaciala lerans varvighet. En studie över Uppsala-traktens varviga mörgel. Summary: The varvity of the Glacial clay. A study of the varved marl in the Uppsala region. 1947.	2,00

Ser. Ba.

N:o 14	Jordartskarta över södra och mellersta Sverige. Efter de geologiska kartbladen sammandragen vid S. G. U. av K. E. Sahlström 1944. 1:400 000. Mellersta bladet tryckt 1947	10,00
--------	---	-------

Ser. Ca.

N:o 33	MOLIN, K., A general earth magnetic investigation of Sweden carried out during the period 1928—1934 by the Geological survey of Sweden. Part 3. Horizontal intensity. With 4 plates. 1941	10,00
» 34	MOLIN, K., A general earth magnetic investigation of Sweden carried out during the period 1928—1934 by the Geological survey of Sweden. Part 4. Vertical intensity. With 5 plates. 1943	10,00
» 35	GELJER, PER och MAGNUSON, N. H., De mellansvenska järnmalmernas geologi. Med 56 tavlor. 1944.	25,00

Distribueras genom Generalstabens Litografiska Anstalt. Stockholm 1