

NGU



Norges geologiske
undersøkelse

Nr. 379

Skrifter 39

Lars Olsen: Rundingsanalyser
på grus- og steinpartikler – et nyttig
hjelpemiddel ved undersøkelser
av løsmassenes genese

Universitetsforlaget 1983

Trondheim - Oslo - Bergen - Tromsø



NGU Norges geologiske undersøkelse

Geological Survey of Norway

Norges geologiske undersøkelse, Leiv Eirikssons vei 39, Trondheim. Telefon (07) 915860.
Postadresse: Postboks 3006, 7001 Trondheim.

Administrerende direktør: dr. philos. *Knut S. Heier*

Berggrunnsavdeling: Avd.direktør dr. philos. *Peter Padget*

Løsmasseavdeling: Avd.direktør *Bjørn A. Follestad*

Geofysisk avdeling: Avd.direktør *Inge Aalstad*

Geokjemisk avdeling: Avd.direktør *Bjørn Bølviken*

Publikasjoner fra *Norges geologiske undersøkelse* utgis som bind med fortløpende hovednummerering, og deles inn i to serier, *Bulletin* og *Skrifter*.

Bulletin omfatter vitenskapelige arbeider over regionale, generelle eller spesialiserte emner av faglig interesse.

Skrifter omfatter beskrivene artikler og rapporter over regionale, tekniske, økonomiske, naturfaglige og andre geologiske emner av spesialisert eller allmenn interesse.
Skrifter utgis på norsk, med resyme på engelsk (Abstract).

REDAKTØR

Førstestatsgeolog dr. *David Roberts*, Norges geologiske undersøkelse, Postboks 3006, 7001 Trondheim.

UTGIVER

Universitetsforlaget, Postboks 2959, Tøyen, Oslo 6.

TIDLIGERE PUBLIKASJONER OG KART

Den siste fortegnelse over NGU's publikasjoner og kart, «Publikasjoner og kart 1879–1980», ble utgitt i 1981 og bestilles fra Universitetsforlaget.

De nyeste kart fra NGU er oppført på tredje omslagsside.

MANUSKRIPTER

En rettleiding for utarbeiding av manuskripter (Instructions to contributors to the NGU Series) kan finnes i NGU Nr. 273, s. 1–5.

Rundingsanalyser på grus- og steinpartikler – et nyttig hjelpemiddel ved undersøkelser av løsmassenes genese

LARS OLSEN

Olsen, L. 1983: Roundness analyses on gravel and stone particles – a useful tool in investigations of the genesis of Quaternary sediments. *Norges geol. Unders.* 379, 1–20.

A combined method for determination of clast roundness based on a visual estimation method and the newly defined parameter *crushing*, provides good and quite detailed information on the total roundness of a collection of particles. Tests of operator bias and stability have been carried out to investigate the reliability of this method. The analysing time and the information value associated with the method have also been taken into consideration in this study. A set of reference samples and a control sample set are included for further use. This will make it possible to determine the size of the operator bias, and to keep this as small as possible.

Lars Olsen, Norges geologiske undersøkelse, P.O. Box 3006, N-7001 Trondheim, Norway

INNHOOLD

Innledning	1
Presentasjon	2
Operatørfeil og stabilitet	3
Parameter for knuse-effekt	8
MR-Kn diagram	10
MR-Kn verdier og energimiljø	12
Sammendrag	12
Summary	13
Etterord	20
Litteratur	20

Innledning

Rundingsanalyser er en morfometrisk metode som brukes til å bestemme rundingsgraden på partiklene i en jordart. Metoden har i lang tid vært i bruk ved kartlegging av løsmassenes egenskaper og genese (f.eks. Wentworth 1919, 1936 a, b; Jørstad 1955; Reichelt 1961). Rundingsgraden på partikler er blitt bestemt i felt eller i laboratorium. Det eksisterer både visuelle og ikke-visuelle målemetoder til rundingsanalyser (Reichelt 1961; Pettijohn 1976).

Operatørfeil, analysetid og informasjonsverdi varierer for de forskjellige rundingsmetoder. Ved behandling av et statistisk materiale trengs metoder som er rimelig raske i anvendelse. Kort analysetid må likevel nøye veies mot stabilitet og informasjonsverdi.

I denne artikkelen omtales en spesiell rundingsmetode som både er hurtig i anvendelse og forbundet med relativt liten operatørfeil (Olsen 1980, 1983). Metoden er utviklet fra Reichelts visuelle 4-klasse metode, introdusert i Norge av Bergersen (1964). Informasjonsverdien i denne utgaven er økt i forhold til Reichelts opprinnelige metode. Metoden er mest anvendbar på grovfraksjonene, fortrinnsvis grovgrus og steinpartikler.

Operatørfeilen holdes så liten som mulig ved at det anvendes referanseprøver og kontrollprøve under analysene (Fig. 8, 9). Dette gir grunnlaget for utveksling av data mellom forskjellige brukere. Definisjoner av rundingsklasser og middelrundingsgrad er gitt i Olsen (1983), men taes for ordens skyld med her også:

Kantet (K): Overflaten er uregelmessig, og mer enn halvparten av kanter og hjørner er skarpe.
(Angular (A))

Kantrundet (KR): Over halvparten av hjørner og kanter er slitte, men kantene er enda tydelige. I mer enn halvparten av hovedhjørnene (vanligvis 3–5 stk.) er krumningsradius mindre enn $1/6$ av minste hosliggende sidekant.
(Subrounded (SR))

Rundet (R): Partikkelen er konveks med ovalt eller sirkulært omriss i minst ett plan. Kantene sees bare delvis og overflaten er glatt, men ikke uten uregelmessigheter. I minst halvparten av hovedhjørnene er krumningsradius større enn $1/6$ av minste hosliggende sidekant. Partikkelen kan ha bruddsår.
(Rounded (R))

Godt rundet (GR): Glatt overflate. Partikkelen er regelmessig konveks med ovalt eller sirkulært omriss i minst to plan. Små bruddsår kan forekomme.
(Well-rounded (WR))

Definisjonene ovenfor bygger i hovedsak på Reichelt (1961) og Bergersen (1964, 1970 og 1973), men klassene KR og R er noe modifisert.

Middelrundingsgrad (MR): Klassene K, KR, R og GR gies et nummer hver, hhv. 1, 2, 3 og 4. Prosentandelen i hver klasse multipliseres med nummeret på tilhørende klasse. Delproduktene divideres med 100 og adderes. Resultatet blir et tall mellom 1 og 4, der 1 og 4 tilsvarende henholdsvis 100% kantet og 100% godt rundet materiale.
(Middle roundness number (MR))

Presentasjon

Under transport og avsetning utsettes klastiske fragmenter for slitasje. Rundingsgraden på fragmentene eller partiklene avspeiler slitasjehistorien. Prosessene som inngår i slitasjehistorien kan inndeles i to hovedgrupper:

- | | | |
|-----------------------|---|-------------------|
| a) Abrasjonsprosesser | } | Rundingsprosesser |
| b) Knusingsprosesser | | |

Den totale rundingsgrad på en partikkel er et resultat av disse prosessenes varighet, karakter og styrke. En god rundingsmetodikk bør derfor innebære en kvalitativ og kvantitativ vurdering av begge prosessgrupper.

Få eller ingen kjente rundingsmetoder dekker hele det nevnte informasjonsbehovet. Dette skyldes trolig at det er vanskelig å finne en noenlunde objektiv målbar parameter for knusing.

Ved noen problemstillinger er det tilstrekkelig å bruke 4 klasser ved rundingsanalyser basert på visuell vurdering i felt. Reichelts metode har vist seg nyttig i

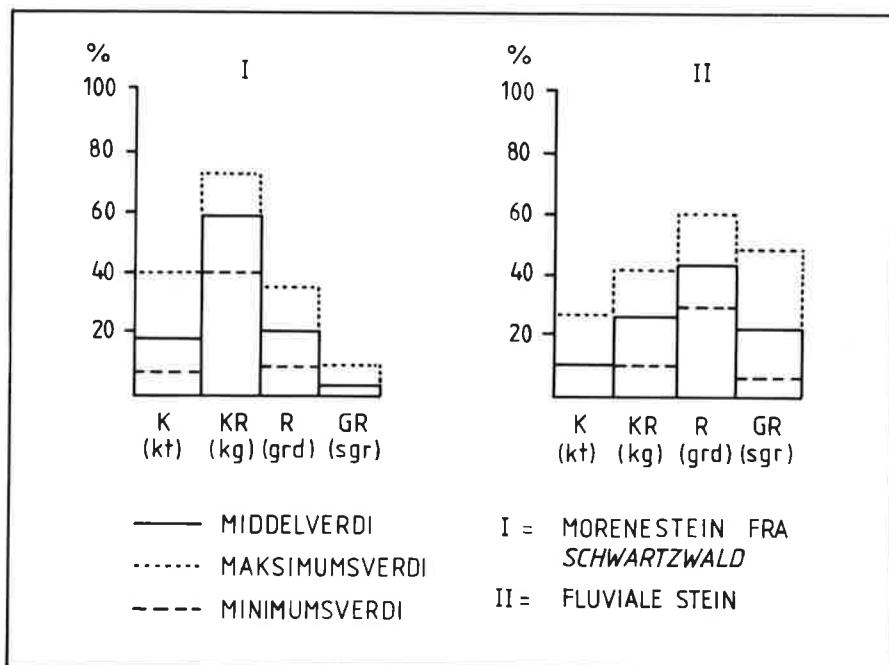


Fig. 1: Eksempler på rundingsmorfogram etter Reichelt (1961). K = Kanter, KR = Kanrundet, R = Rundet, og GR = Godt rundet.

Examples of roundness morphograms, after Reichelt (1961). K = Angular (A), KR = Subrounded (SR), R = Rounded (R), and GR = Well rounded (WR).

denne forbindelse. Ved bruk av hans metode er det mulig å få fram karakteristiske histogrammer eller morfogrammer over rundingsfordelingen for ulike jordarter. Reichelt (1961) viste dette ved undersøkelser av steinpartikler fra tyske jordarter (Fig. 1), og Bergersen (1964, 1970, 1973) har vist det samme for norske jordarter.

En svak side ved visuelle halv-subjektive vurderingsmetoder er åpenbart operatørfeilen. Men med noe øvelse kan denne feilen stabilisere seg, og derved holdes under kontroll.

OPERATØRFEIL OG STABILITET

En rekke studentkolleger deltok i 1977 velvilligst i en test av operatørfeil og personlige feil i tilknytning til et studium av 4-klasse-metoden som ble introdusert av Reichelt (1961). I alt 24 personer var med i testen (Tabell 1). Testpersonene ble delt inn i to grupper, *gruppe A* (personer med en del øvelse i rundingsanalyser) og *gruppe B* (personer med liten eller ingen øvelse i rundingsanalyser). Det ble benyttet referanseprøve (med illustrasjoner) under analysene.

Operatørfeilen er omtrent like stor i gruppe A og gruppe B (Tabell 2, Fig. 2). Stabiliteten (Fig. 3) er derimot klart bedre i gruppe A enn i gruppe B. Dette resultatet er statistisk signifikant ved 3% signifikansnivå (Tabell 2). Testmetoden som her er benyttet er «Wilcoxon to-prøve test» (Hodges & Lehmann 1970).

Gruppe	Person nr.	Prøve 1				MR ₁	Prøve 2				MR ₂
		K	KR	R	GR		K	KR	R	GR	
A	1	5	15	43	36	3,08	18	18	41	23	2,68
	2	2	13	69	16	2,99	15	23	50	12	2,59
	3	10	20	56	14	2,74	21	28	41	10	2,46
	4	5	30	57	8	2,67	20	36	33	11	2,35
	5	6	16	53	25	2,97	19	24	39	18	2,56
	6	8	21	51	20	2,83	16	32	38	14	2,50
	7	4	19	54	23	2,96	18	27	39	16	2,53
	8	1	24	45	30	3,04	17	29	32	22	2,59
	9	2	36	45	17	2,77	16	31	40	13	2,50
	10	3	17	61	19	2,96	14	23	44	19	2,68
	11	7	34	47	12	2,64	16	40	36	8	2,36
B	12	4	24	54	18	2,86	19	21	19	11	2,52
	13	5	18	57	20	2,92	11	28	51	10	2,60
	14	9	22	51	18	2,88	13	29	46	12	2,57
	15	1	26	52	21	2,93	11	25	55	9	2,62
	16	7	23	47	23	2,86	16	29	38	17	2,56
	17	1	24	52	23	2,97	11	33	43	13	2,58
	18	8	20	38	34	2,98	20	32	28	20	2,48
	19	8	26	43	23	2,81	15	25	44	16	2,61
	20	10	17	43	30	2,93	14	26	34	26	2,72
	21	2	15	49	34	3,15	13	28	40	19	2,65
	22	5	30	56	9	2,69	15	25	46	14	2,59
	23	13	34	30	23	2,63	30	38	20	12	2,14
	24	1	17	51	31	3,12	12	38	35	15	2,53

Prøve	Gjennomsnittlig	Standardavvik
	MR-verdi	(σ)
1	2,89	0,142
2	2,54	0,123

Tabell 1: Test av operatørfeil og personlig feil ved rundingsanalyser. Gruppe A = øvde personer. Gruppe B = uøvde personer. MR_j = middelrundingsgrad for prøve nr. j (j = 1,2).
Test of operator bias and personal bias associated with roundness analyses. 'Gruppe A' and 'Gruppe B' refer to persons with and without experience in roundness analysis, respectively. MR_j = middle roundness number for sample ('prøve') no. j (j = 1, 2). The standard deviation of the mean MR-value for each sample is indicated.

Gruppe	Person		Operatørfeil		Personlig feil	
	nr.	Rang.nr.	Prøve 1	Prøve 2	Stabilitet	Feil %
A	1	5	1,0654	1,0559	1,009	0,9
	2	7	1,0342	1,0205	1,013	1,3
	3	2	0,9478	0,9456	1,002	0,2
	4	1	0,9270	0,9259	1,001	0,1
	5	11,5	1,0273	1,0087	1,018	1,8
	6	4	0,9789	0,9850	0,994	0,6
	7	14	1,0239	0,9968	1,027	2,7
	8	16	1,0515	1,0205	1,030	3,0
	9	15	0,9581	0,9850	0,973	2,7
	10	17	1,0239	1,0559	0,970	3,0
	11	11,5	0,9132	0,9299	0,982	1,8
B	12	3	0,9893	0,9929	0,996	0,4
	13	8	1,0100	1,0244	0,986	1,4
	14	9	0,9962	1,0126	0,984	1,6
	15	11,5	1,0135	1,0323	0,982	1,8
	16	11,5	0,9893	1,0087	1,018	1,8
	17	6	1,0273	1,0165	1,011	1,1
	18	21	1,0308	0,9771	1,055	5,5
	19	20	0,9720	1,0284	0,945	5,5
	20	19	1,0135	1,0717	0,946	5,4
	21	18	1,0896	1,0441	1,044	4,4
	22	24	0,9305	1,0205	0,912	8,8
	23	22	0,9097	0,8432	1,079	7,9
	24	23	1,0792	0,9968	1,083	8,3

Gjennomsnittlig feil ("50% - spredning")			Statistisk test av forskjell i feil-% for gruppe A og B	
Gruppe	Feil-%	Utslag ved MR = 2,60	Signifikansnivå	
A	1,65	2,56-2,64	< 3%	
B	4,15	2,49-2,71		

Tabell 2: Test av operatørfeil og personlig feil ved rundingsanalyser. Middelrundingsgrad (MR) er dividert med gjennomsnittlig MR-verdi for alle operatørene. Forholdstallet står oppført for hver operatør og for hver prøve.

Test of operator bias and personal bias associated with roundness analyses. The middle roundness number (MR) is divided by the mean MR-value for all the operators. The ratios are indicated for each operator and each sample. Probable errors, i.e. the 50%-deviations, are used to determine stability differences between groups A and B.

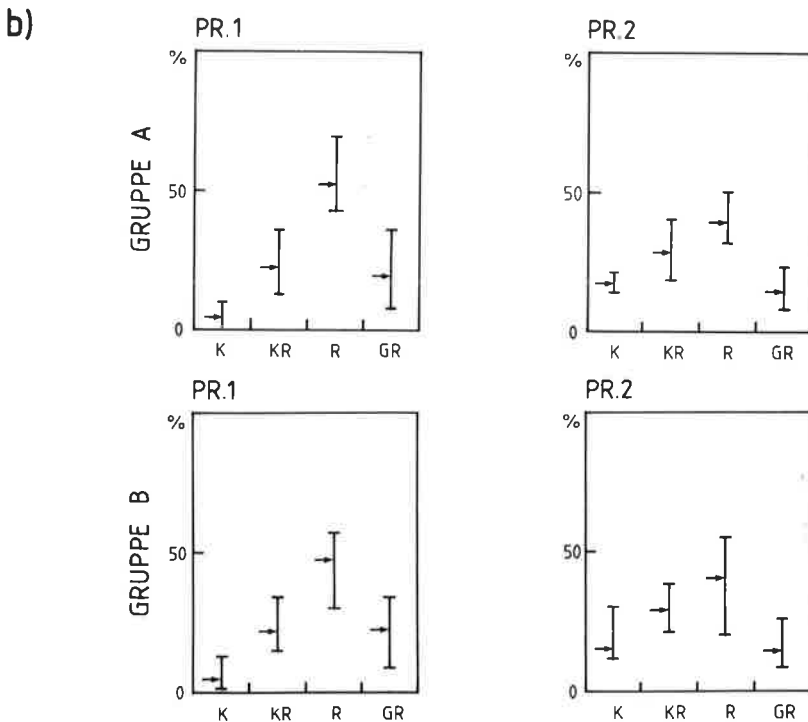
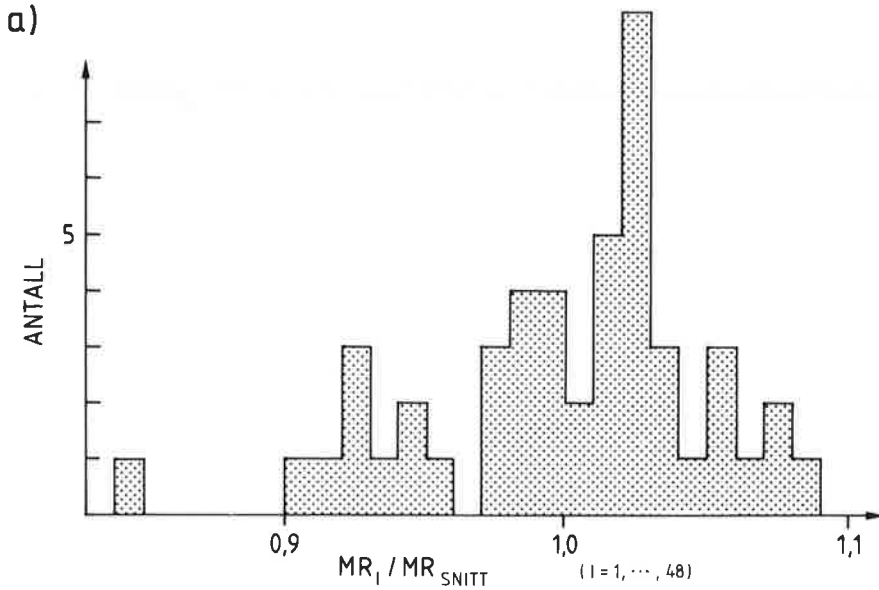
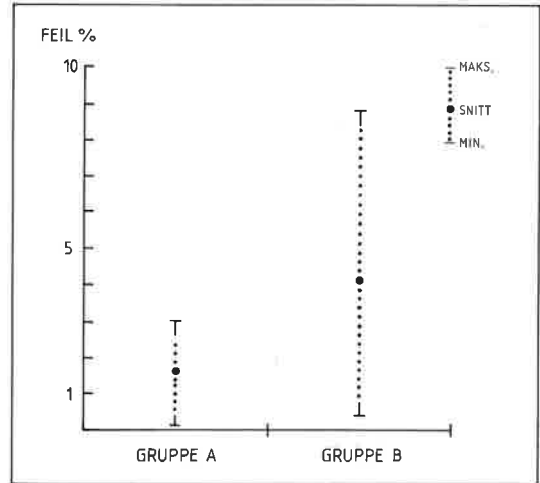


Fig. 2: Operatorfeil for 24 personer ved analyse av to grus- og steinprøver (Tabell 1 og 2). Fig. 2a viser operatorfeil med hensyn til middelrundingsgrad (MR). Begge prøver er medregnet i diagrammet. Fig. 2b viser variasjonsbredde og middelerdi for den enkelte rundingsklasse, for hver prøve og for hver test-gruppe.

Operator bias of 24 persons during the analysis of two gravel and stone samples (Tables 1 and 2). Fig. 2a shows operator bias with regard to the middle roundness number (MR). Both samples are included in the diagram. Fig. 2b shows the variation and mean for each separate roundness class for each sample, and for each test group.

Fig. 3: Stabilitet ved rundingsanalyser basert på testresultatene i Tabell 1 og 2. Stabiliteten for hver operatør er beregnet som et forholdstall mellom avviket fra gjennomsnittlig middelrundingsgrad for henholdsvis prøve 1 og 2.

Stability of roundness analyses based on the test results in Tables 1 and 2. The stability for each operator is determined as a ratio between the deviation from the mean middle roundness number for sample 1 and 2, respectively.



For å få en anelse av størrelsen på operatørfeil når referanseprøve og illustrasjoner ikke er benyttet, er det utført 2 tester:

- (i) Tre prøveserier á 8–9 prøver er analysert i henholdsvis 1969, 1971 og 1974 av operatør I. Prøvene fra alle tre serier er deretter reanalysert, alle på en gang, av operatør II i 1977. Ettersom operatør II har utført alle analysene samtidig, regnes hans vurderinger av klassegrensene for å ha vært tilnærmet konstante. Dette gir et grunnlag for å teste eventuelle stabilitetsendringer over tid for operatør I. Variasjonen i differansen mellom operatørens klassestørrelser er beregnet for hver av de tre prøveseriene. Formlene:

$$F(x) = \frac{X_I + X_{II}}{2} \quad \text{og} \quad F(MR) = 2,6 \cdot \frac{MR_I}{MR_{II}}$$

der x betyr K, KR, R eller GR, og indeksene I og II står for analyseresultat for operatør I og II, er benyttet under testen. Faktoren 2,6 er en valgt normeringsfaktor.

- (ii) Et 50-talls egne prøver er først analysert i 1975 og deretter reanalysert i 1977. Stabilitetsforholdene er vurdert ut fra 3 serier á 7 prøver som er analysert med 3 uker mellom hver prøveserie i 1975, deretter analysert alle under ett i 1977. Beregningene er gjort på samme måte som beskrevet under punkt (i). Indeksene I og II henspiller denne gang på telleomgang I (= 1975) og II (= 1977).

Resultatene fra disse to testene viser at stabiliteten bedres med økende erfaring (Fig. 4), operatørfeilen stabiliseres og operatørfeilkorreksjoner kan derfor systematiseres. Dette skaper grunnlaget for utveksling av rundingsdata mellom ulike brukere. Uten nødvendige operatørfeil-korreksjoner reduseres nytteverdien av resultatene fra rundingsanalyser betraktelig, noe som går klart fram av førstnevnte testresultater (Fig. 2).

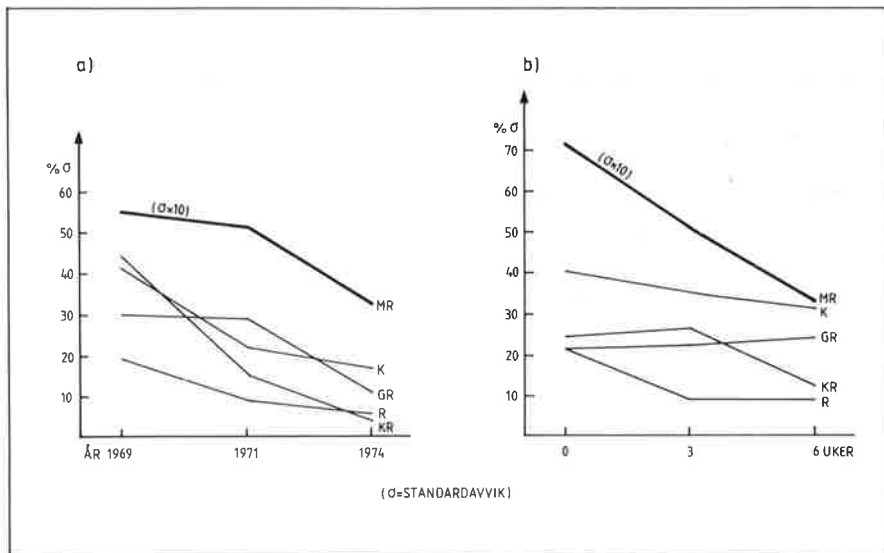


Fig. 4: Presisjonsforbedring over tid med hensyn til bestemmelse av klassegrensene K/KR, KR/R og R/GR, og derved stabilitetsforbedring av størrelsen på rundingsklassene. Standardavviket (i %) er vist for funksjonen $F(x)$ der $x = K, KR, GR$ eller MR , og $F(x)$ er som definert i teksten. Fig. 4a er basert på tre prøveserier analysert av operatør I i henholdsvis 1969, 1971 og 1974, og deretter reanalysert av operatør II, alle på en gang, i 1977. Fig. 4b er basert på tre prøveserier som er analysert med tre uker mellom hver serie i 1975, deretter analysert samtidig i 1977.

Improvement of precision with time with regard to determination of the class-limits A/SR, SR/R and R/WR, and, in consequence of this, improvement of stability of the size of the roundness classes. The standard deviation (in percent) is shown for the functions $F(x)$ and $F(MR)$ where:

$$F(x) = \frac{X_I + X_{II}}{2} \quad \text{and} \quad F(MR) = 2,6 \cdot \frac{MR_I}{MR_{II}}$$

and where $x = A, SR, R$ or WR , and the indices I and II refer to results of analyses for operator I and II, respectively. Fig. 4a is based on three series of samples analyzed by operator I during 1969, 1971 and 1974, respectively, and then re-analyzed by operator II, all at the same time, in 1977. Fig. 4b is based on three series of samples analyzed at intervals of three weeks during 1975, and then re-analyzed simultaneously in 1977. The indices I and II refer to results from analyses carried out in 1975 and 1977, respectively.

PARAMETER FOR KNUSE-EFFEKT

Reichelts 4 klasser gir liten informasjon om knusingsprosessene i slirasjehistorien. Det er derfor nødvendig å utvide metoden slik at også andel «knuste» partikler eller partikler med bruddsoner kvantifiseres.

Til dette formål er parameteren *knusning* (crushing) definert (Olsen 1979, 1983).

Knusning (Kn): Med knusning forstås %-andel av rundet (R) og godt rundet (GR) materiale som har bruddsoner med skarpkantete til svakt kantrundete begrensninger. Minst en bruddsone på partikkelen utgjør $> 5\%$ av overflaten (på denne måten unngås vanligvis bruddsår som skyldes løsnete enkeltkorn eller enkeltkrystaller).

Knusingsparameteren er tatt i bruk ved rundingsanalyser på flere hundre prøver

Gruppe	Person	Kn		Operatørfeil: $X_{i,j}/X_j$		Personlig feil	
		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 1	Prøve 2	Stabilitet	Feil-%
A	1	22	36,5	0,965	1,123	1,164	16,4
	2	17	36	0,746	1,108	1,485	48,5
	3	17,5	33	0,768	1,015	1,322	32,2
	4	17,1	34,5	0,750	1,062	1,416	41,6
	5	-	36	-	1,108	-	-
B	6	27,4	37,3	1,202	1,148	0,955	4,5
	7	27,5	32,8	1,206	1,009	0,837	16,3
	8	27,8	25	1,219	0,769	0,631	36,9
	9	32	30,4	1,404	0,935	0,666	33,4
	10	28,8	35	1,263	1,077	0,853	74,7
	11	8,2	22	0,360	0,677	1,881	88,1
	12	30,6	37,5	1,342	1,154	0,860	14,0
	13	18,2	26,2	0,798	0,806	1,010	1,0

Prøve nr.	Gjennomsnittlig Kn-verdi: X_j (%)	Standard-avvik (σ)	$X_j \pm 1\sigma$	Sannsynlig feil ("50%-spredning")
1	22,9	6,95	75%	17,5 - 28
2	32,5	4,88	77%	29 - 36

Testresultat når bare personer med øvelse regnes med (person 1-4; $k = 1,4$):

Person	Operatørfeil: $X_{i,j}/X_j$		Personlig feil		
	Prøve 1	Prøve 2	Stabilitet X_{1k}/X_{2k}	Feil-%	Utslag ved Kn = 25%
1	0,951	0,943	1,009	0,9	24,8-25,2
2	0,929	0,986	1,061	6,1	23,5-26,5
3	0,924	1,029	1,107	10,7	22,3-27,7
4	1,196	1,043	1,146	14,6	21,3-28,7

Tabell 3: Test av operatørfeil og personlig feil ved rundingsanalyser. Knusing (Kn). Gruppe A = øvde personer. Gruppe B = uøvde personer. $X_{i,j}$ = Kn for person nr. i og prøve nr. j ; $i = 1, 13$ og $j = 1, 2$. X_j = gjennomsnittlig Kn-verdi for prøve nr. j .

Test of operator bias and personal bias associated with roundness analyses. Crushing ('Kn', i.e. Cr). $X_{i,j}$ = Cr for operator no. i sample no. j ; $i = 1, 13$, and $j = 1, 2$. X_j = mean Cr-value for sample no. j . Standard deviation and probable error are indicated for each sample.

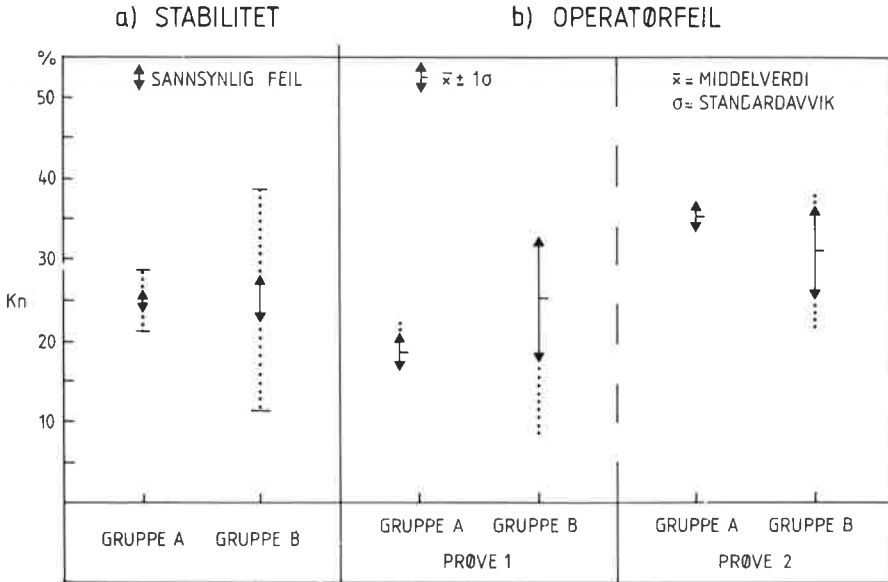


Fig. 5: Middelerdi ± 1 standardavvik og sannsynlig feil ved en test av parameteren Knusning (Kn). Testresultatene er gitt i Tabell 3. Fig. 5a viser stabilitet og Fig. 5b viser operatørfeil for henholdsvis gruppe A og B.

Mean \pm standard deviation and probable error (50%-deviation) during a test of the parameter 'crushing' (Cr). The results are given in Table 3. Fig. 5a shows the stability and Fig. 5b the operator bias for groups A and B, respectively.

tatt i hovedsak fra glasigene jordarter og fluvialt materiale vesentlig fra Gausdals- og Gudbrandsdals-området.

Operatørfeil og stabilitet tilknyttet knusningsbestemmelser er anslått i en test med 13 testpersoner (Tabell 3). Det ble benyttet samme prøver som ved testen av Reichelts metode (jfr. test med 24 deltakere, omtalt tidligere).

Stabiliteten økes åpenbart med øvelse (Fig. 5a). Dette har innvirkning på operatørfeilen som minsker noe med øvelse (Fig. 5b).

Basert på test-resultatene ser det ut til at knusings-parameteren kan brukes fritt for personer med noe øvelse i rundingsanalyser (Tabell 3).

Analysetiden for den kombinerte rundingsmetode – Reichelts metode med beregning av middelerunding (MR) samt beregning av knusning (Kn) – er registrert under operatørfeil-testene. Snittet ligger på rundt 30 minutter pr. analyse.

MR-KN DIAGRAM

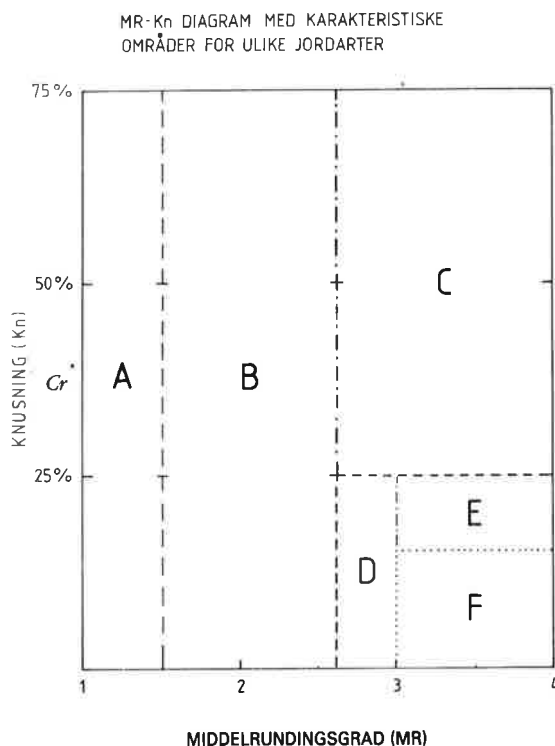
Middelerunding (MR) og Knusning (Kn) kvantifiserer resultatet av henholdsvis abrasjonsprosessene og knusningsprosessene. Den totale rundingsgrad framkommer ved vekselvirkning og samvirkning mellom prosessene. Det faller derfor naturlig å framstille MR- og Kn-verdiene i et vanlig xy-diagram. Et plottepunkt for en analyse i et slikt MR-Kn diagram gir en enkel informasjon om den totale rundingsgrad for et prøvemateriale.

Fig. 6: MR-Kn diagram med karakteristiske områder for ulike jordarter.

– A: Jordarter produsert ved rasaktivitet og forvitring. – B: Morene. – C: Morene med retransporterte tidligere rundete partikler. Korttransport glasfluvialt (eller fluvialt) materiale derivert fra morene med mange rundete og knuste partikler kan også opptre i dette området. – D: Glasfluvialt materiale. Korttransportert fluvialt materiale og lite moden strandgrus kan også opptre her, førstnevnte i nedre del av feltet (Kn < 15%). – E: Glasfluvialt materiale og strandgrus. – F: Glasfluvialt materiale, strandgrus og fluvialt materiale.

MR-Cr diagram with typical areas for different sediments. – A: Sediments produced by landslides, mudflows or weathering processes. – B: Till. – C: Till with retransported earlier rounded particles. Short-transported glacifluvial (or fluvial) material derived from till with highly rounded and crushed particles may also appear in this field. – D:

Glacifluvial material. Short-transported fluvial material and poorly mature strandgravels may also appear here, the former mostly in the lower part of the field. – E: Glacifluvial material and strandgravels. – F: Glacifluvial material, strandgravels and fluvial material.



I et MR-Kn diagram er det mulig å skille ut karakteristiske områder for grov-partikler fra ulike jordarter (Fig. 6).

Variasjonsområdet for morenematerialet er best undersøkt. Mindre enn 2% av ca. 250 analyser fra ulike morenematerialer faller utenfor område B og C i diagrammet.

Høy knusning er karakteristisk i forbindelse med glacialtransport og massebevegelse, og favoriseres av sterk frostaktivitet (Olsen 1979, 1983). Lav knusning forbindes med rolige strømforhold under vanntransport, men kan også forekomme under glacialtransport. Nedknusningen av bergarter er liten ved englacial transport sammenlignet med basaltransport. Hovedårsaken til dette antas å være at partiklene kolliderer i langt mindre grad englacialt enn ved basis av isen (Dreimanis 1976). Til og med myke bergarter kan overleve lang englacial transport.

Olsen (1979) har vist at et høyt pelitt-innhold (<0,063 mm) i morenemateriale favoriserer lav knusning. Dette tilsier at ved høy finstoff (pelitt) – produksjon under glacial materialtransport dominerer abrasjonsprosessene over knusingsprosessene (Haldorsen 1981).

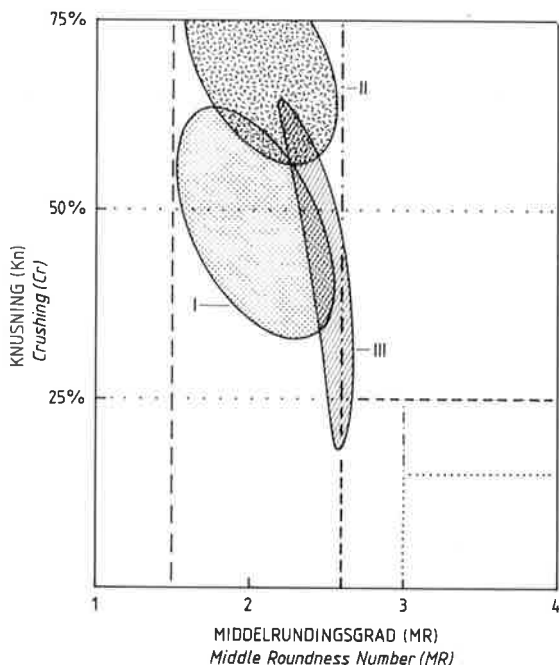


Fig. 7: Dominansen av ca. 200 prøver fra 1) basalmorene, 2) ablasjonsmorene og basalmorene fra isavsmeltingstiden, og 3) basalmorene tolket som produkt fra i hovedsak englasial transport, faller innenfor henholdsvis sone I, II og III.

The majority of about 200 samples from 1) basal till, 2) ablation till and basal till from the deglaciation period, and 3) basal till thought to be a product from mainly englacial transport, plot inside zones I, II and III, respectively.

MR-KN VERDIER OG ENERGIMILJØ

Det eksisterer etter alt å dømme en proporsjonalitet mellom knusingen og energiforholdene i et avsetningsmiljø (Olsen 1979).

Energimiljøet avhenger av transportmåten. Ved vanntransport heves energinivået når vannhastigheten øker. Økende brebevegelseshastighet hever energinivået ved glacialtransport. Energinivået ligger vanligvis langt høyere, og knusingsprosessene er mer intensive ved basaltransport, enn ved englasial transport (Dreimanis 1976). Ved supraglasial transport er knusingen ofte mer intensiv enn ved basaltransport (Drake 1971).

Dette betyr at man trolig kan differensiere ytterligere i MR-Kn diagrammet (Fig. 7). Det vil si, lage grupperinger eller finne karakteristiske områder for materiale fra f.eks. vifter, deltaer, eskere, slukåser, kames, basalmorener, randmorener eller avsmeltingsmorener av ulike typer.

Sammendrag

Et høyt antall rundingsklasser gir den mest omfattende informasjon om rundingsgraden på en partikkelmengde. Informasjonen kan imidlertid lett bli falsk hvis ikke presisjonen under analysene er tilstrekkelig høy. Høy presisjon ved inndeling i mange klasser medfører lang analysetid.

Med tanke på undersøkelser av et omfattende materiale vil analysetiden være en viktig faktor som må vurderes ved valg av rundingsmetode. Mest gunstig vil det være om det finnes metoder der kort analysetid er parret med liten operatørfeil og høy informasjonsverdi.

En utvidet variant av Reichelts visuelle 4-klasse metode viser seg å ha en gunstig

balanse mellom operatørfeil, analysetid og informasjonsverdi. Det er utført tester av operatørfeil og stabilitet der erfaringens rolle for analyseresultatene klart kommer fram (Tabell 1, 2 og 3). Stabiliteten bedres betraktelig ved økende erfaring (Fig. 3 og 4).

Reichelts metode gir god informasjon om abrasjonsprosessene i slitasjehistorien. Knusingsprosessene gies det liten eller ingen informasjon om. For å bedre dette forholdet er parameteren *knusning* definert, testet og anvendt.

Den kombinerte rundingsmetoden (Olsen 1979, 1983) som på denne måten er bygget opp, gir resultater med informasjon om *den totale rundingsgraden* for et prøvemateriale. Et enkelt plot i et middelrundingsgradknusnings diagram (MR-Kn diagram), Fig. 6, kan være nok for å si hvilken jordart prøvematerialet er tatt fra. Dette er vist for drøye 400 prøver fra ulike jordarter (Olsen 1979).

Energiniivået i et avsetningsmiljø vil i noen tilfeller bli avspeilet i Kn-verdien (Olsen 1979). Bruk av MR-Kn verdier gir derfor muligheter for en rikere differensiering i jordartstyper enn det som er gjort tidligere med basis i rundingsanalyser.

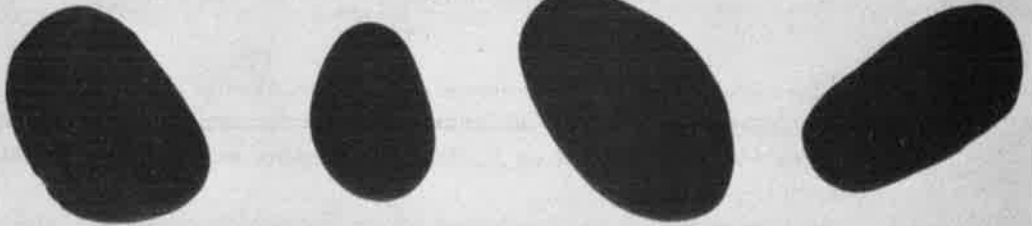
Til slutt er det tatt med en referanseprøve og en kontrollprøve for framtidig bruk (Fig. 8, 9). Disse vil gjøre det mulig å bestemme størrelsen på operatørfeilen, og samtidig holde denne så liten som mulig.

Summary

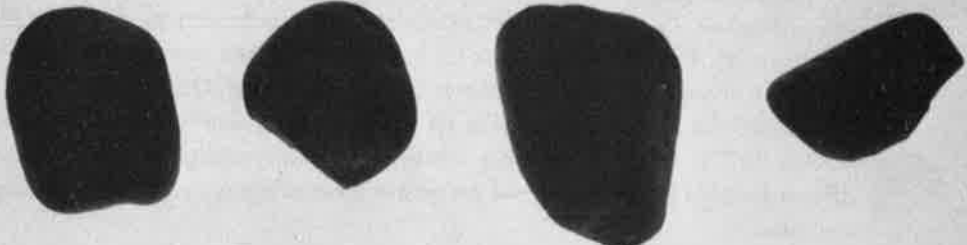
To obtain the widest possible information on the roundness of particles in Quaternary sediments, a large number of roundness classes is required. The information, however, may quite easily be false if the precision is not high enough. The high precision associated with subdivision into a large number of classes involves a long analysing time per analysis; and the investigation of a large number of samples also takes a long time. The choice of rounding method will consequently depend to a certain degree on the analysing time per analysis. The most favourable situation and method will, therefore, be that characterized by short analysing time together with small operator bias and high information value.

With these factors in mind, a combined rounding method has been developed from Reichelt's (1961) visual estimation method with 4 roundness classes supported by a newly defined parameter 'crushing' (Olsen 1979, 1980, 1983). This combined method is shown to strike a favourable balance between operator bias, analysing time and information value. Tests of operator bias and stability (bias on account of personal errors) have been carried out, the results of which have shown (Tables 1, 2 & 3, and Figs. 2, 3, 4, 5a & 5b) that experience is an important and critical factor in visual estimation methods.

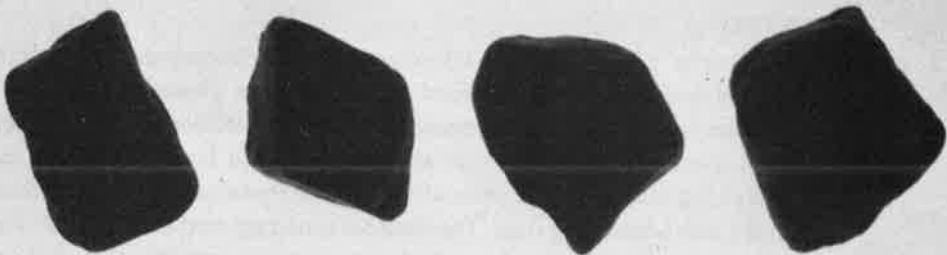
The combined rounding method provides information on the total roundness of the analysed particles in a sample. As the stability gradually improves with experience, it is possible to correct systematically for operator bias when the stability has reached an estimated critical minimum value. This minimum value will probably be attained after some 10–20 analyses have been carried out. In a diagram where middle roundness number (MR) is plotted against the crushing



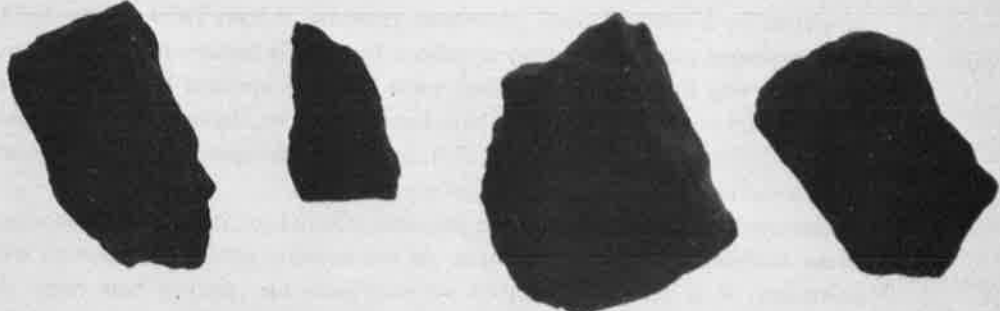
Godt rundet (GR) - Well rounded (WR)



Rundet (R) - Rounded (R)



Kantrundet (KR) - Subrounded (SR)



Kantet (K) - Angular (A)

Fig. 8: Referanseprøve. Fire gruspartikler i hver av rundingsklassene K, KR, R og GR.
Reference sample set. Four gravel particles in each of the roundness classes A, SR, R and WR.

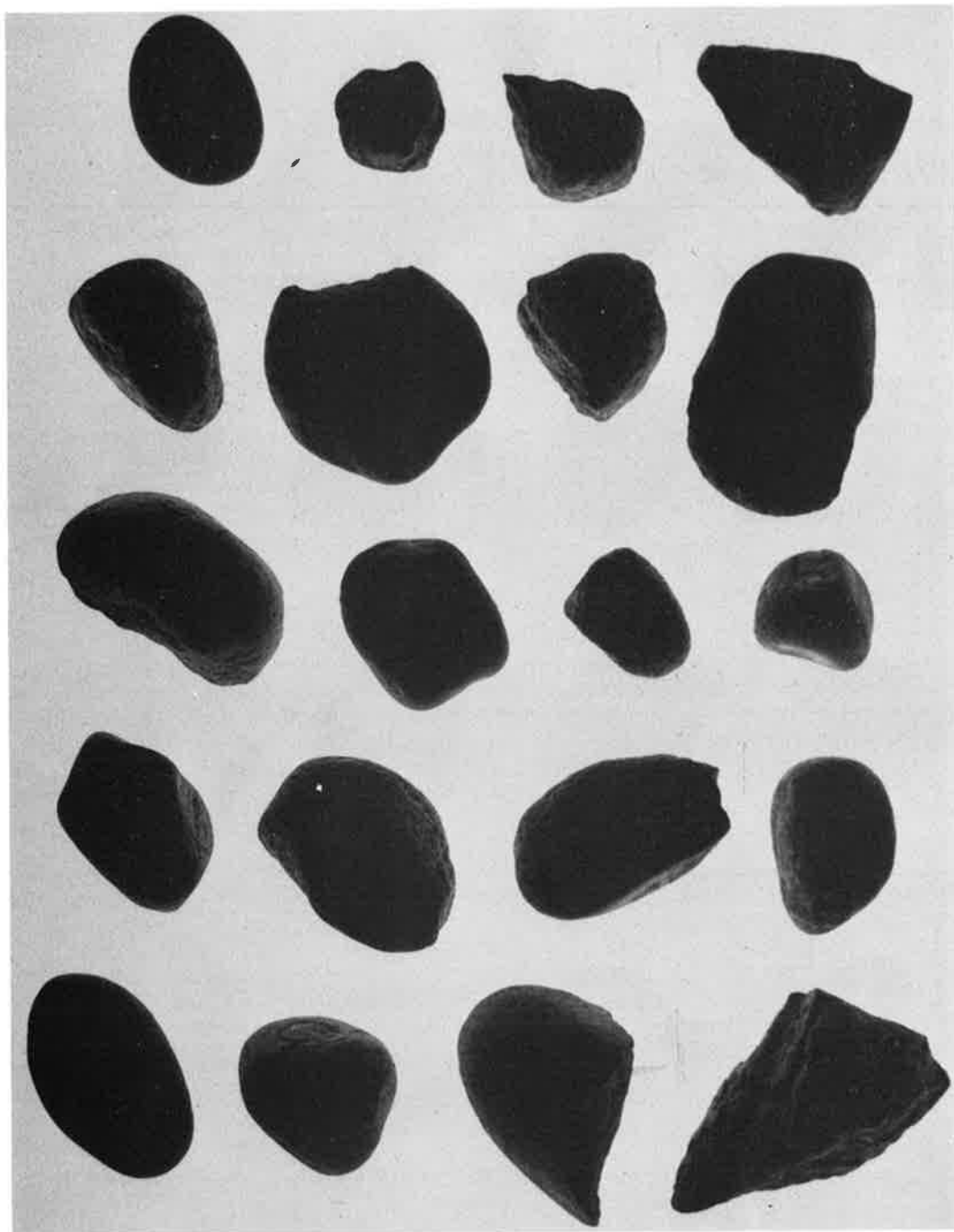
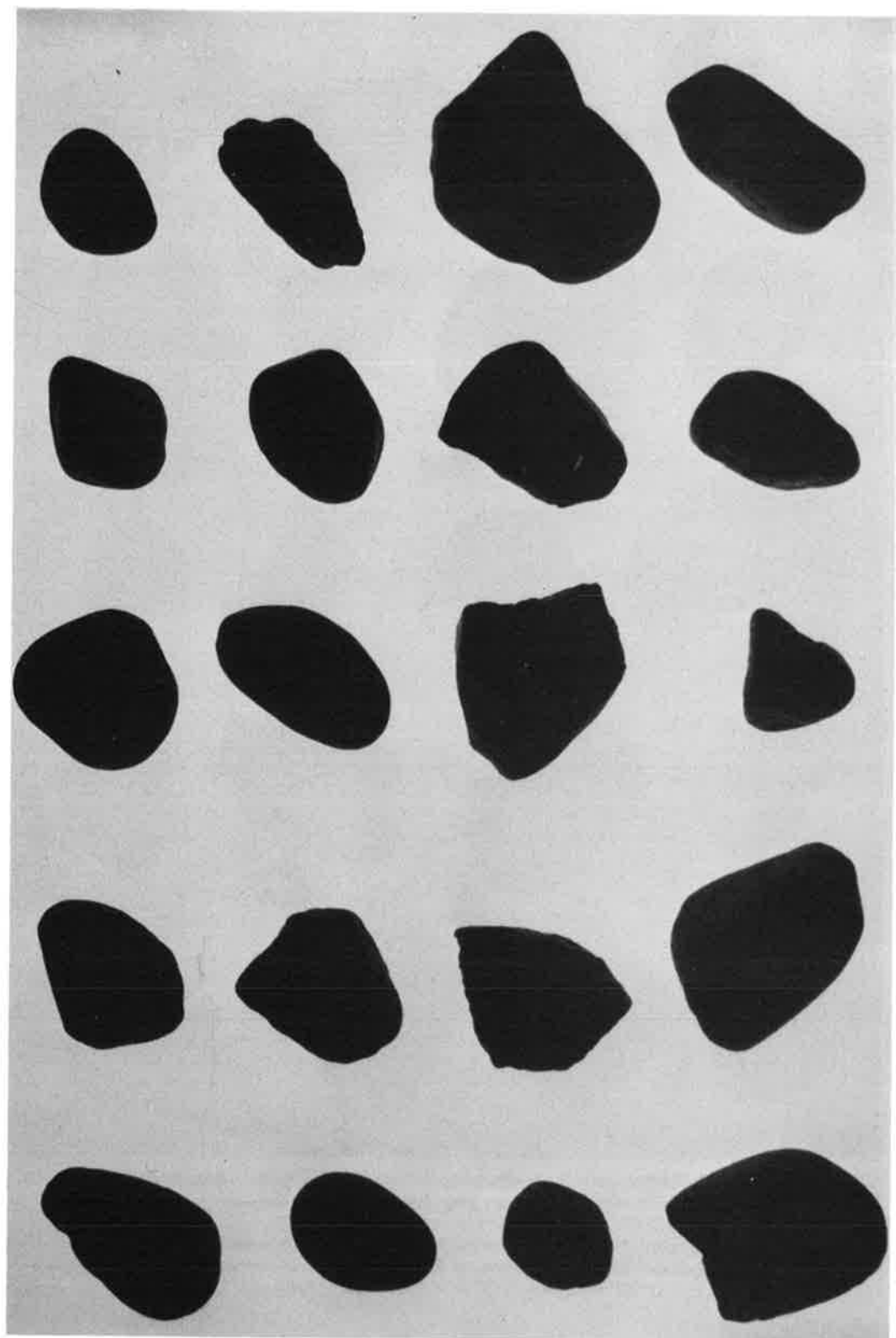
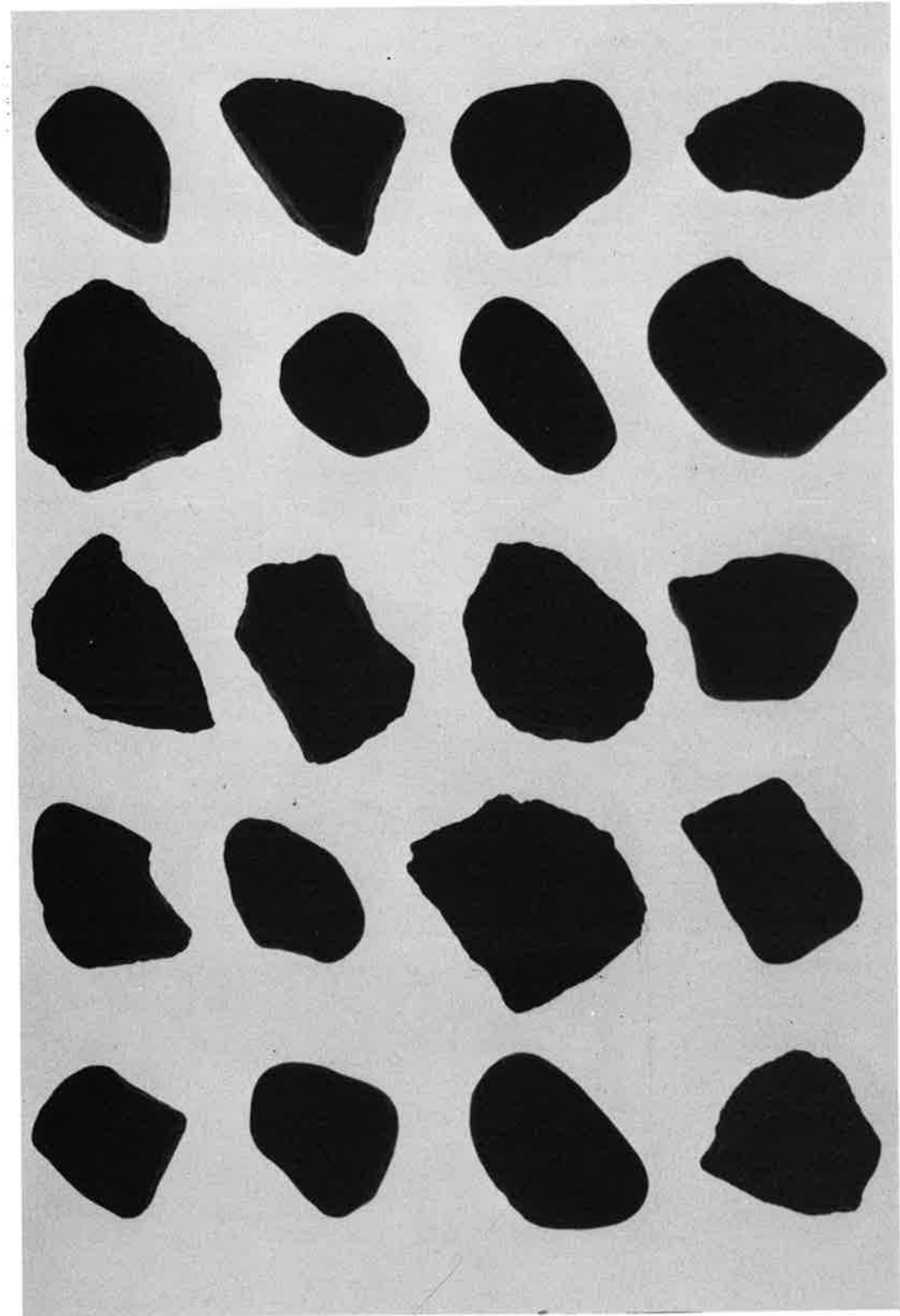
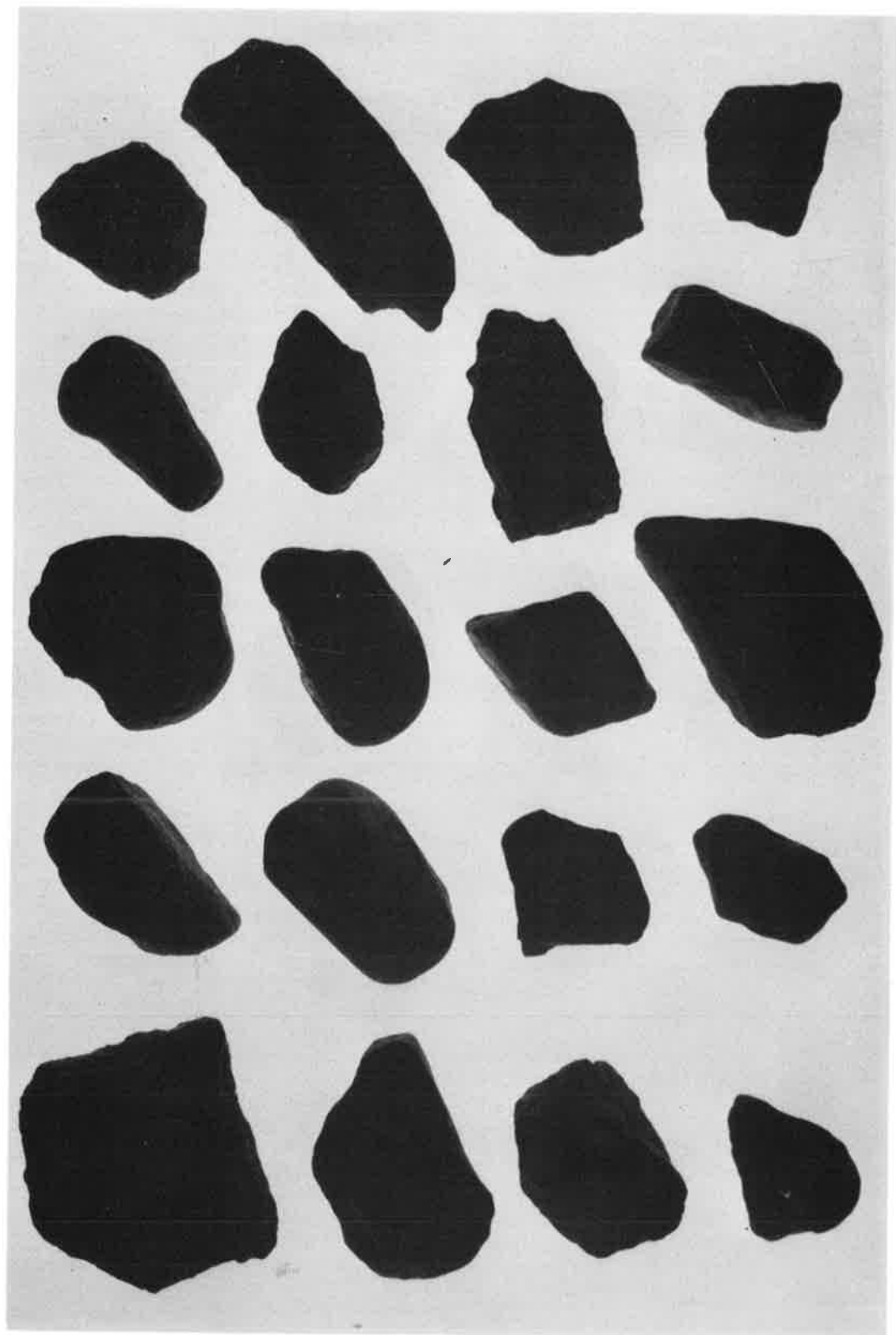
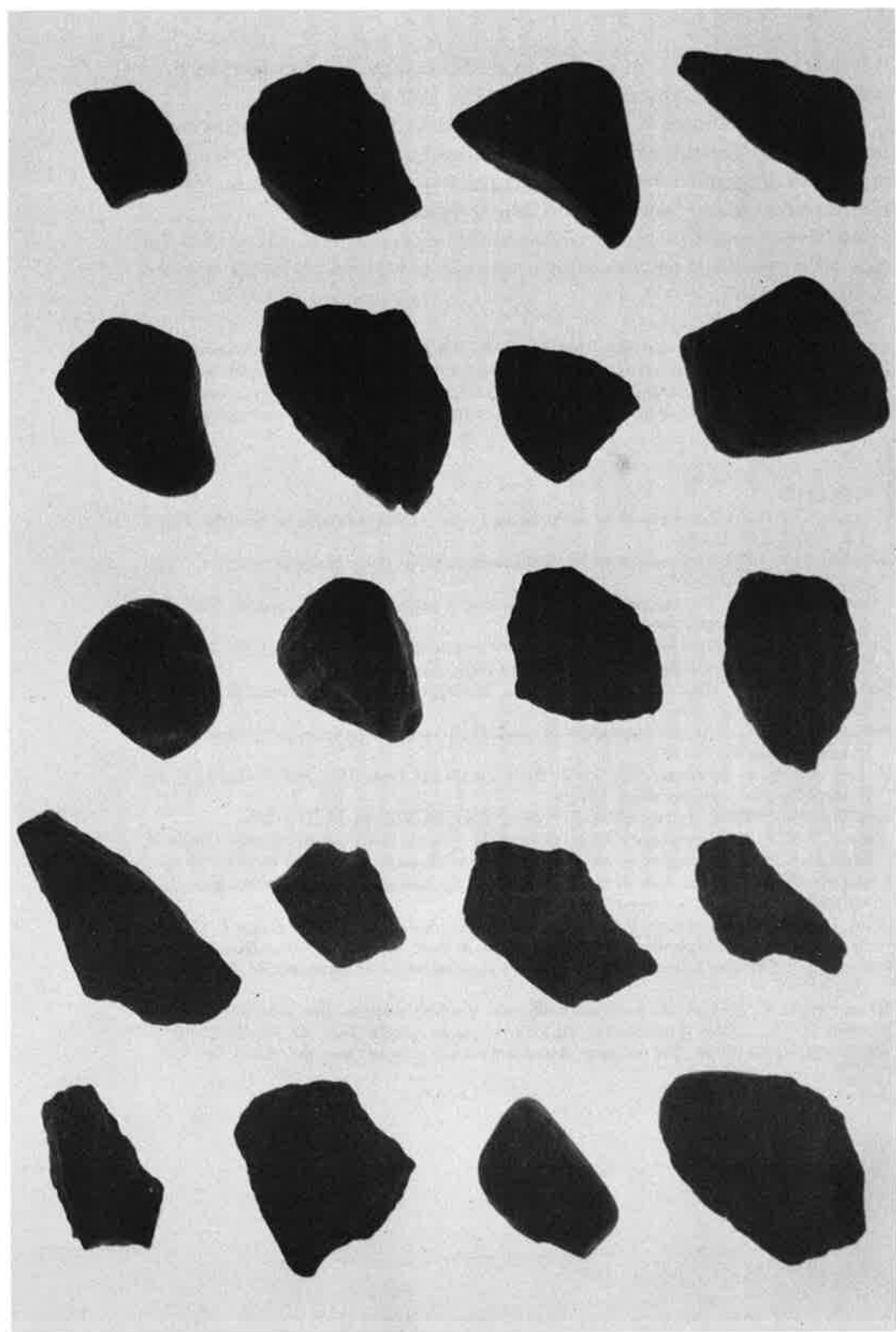


Fig. 9: Kontrollprøve. Ett hundre gruspartikler som kan fordeles over rundingsklassene K, KR, R og GR, før en analyseserie settes i gang. Standardfordeling (forslag):
16 (K) - 35 (KR) - 42 (R) - 7 (GR) = 100%; MR = 2,40.
Control sample set. One hundred gravel particles which have been separated into the roundness classes A, SR, R and WR, before a sequence of analyses is carried out. Standard distribution (proposal):
16 (A) - 35 (SR) - 42 (R) - 7 (WR) = 100%; MR = 2,40.









(Cr) index, it is possible in some cases to differentiate between samples from different types of sediments (Fig. 6; also Olsen 1983).

The energy conditions in any particular depositional milieu will sometimes be reflected in the Cr-value (Figs. 6, 7). Consequently, by using MR-Cr values it is possible to differentiate between types of sediments much more easily than has hitherto been the case based on roundness analyses.

To make it possible to correct systematically for operator bias, and to keep this as small as possible, a reference sample set and a control sample set are included as Figs. 8 and 9.

Etterord – Forfatteren ønsker å rette en takk til Ole Fredrik Bergersen for hovedfagsveiledning, til Bjørn Bergstrøm som har lest kritisk gjennom manuskriptet, og David Roberts som har hjulpet til med den engelske teksten. En takk rettes også til Ingrid Venås for tekstbehandling av manuskriptet, til Birgith Andreassen for rentegning av figurene, og til Lars Holiløkk som har utført reproarbeidet.

LITTERATUR

- Bergersen, O.F. 1964: Løsmateriale og isavsmelting i nedre Gudbrandsdalen og Gausdal. *Norges geol. Unders.* 228, 12–83.
- Bergersen, O.F. 1970: Undersøkelse av steinfraksjonens rundingsgrad i glasigene jordarter. *Norges geol. Unders.* 266, 252–262.
- Bergersen, O.F. 1973: The roundness analysis of stones. A neglected aid in till studies. *Bull. geol. Inst. Univ. Upps. N.S.* 5, 69–79.
- Drake, L.D. 1971: Evidence for ablation and basal till in eastcentral New Hampshire. In: Goldtwait, R.P. (ed.): *Till/A symposium*, 73–91. Ohio State Univ. Press, Columbus.
- Dreimanis, A. 1976: Their origin and properties. In: Legget, R.F. (ed.): *Glacial Till*, R. Soc. Can. Spec. Publ. 12, 11–49.
- Haldorsen, S. 1981: Grain-size distribution of subglacial till and its relation to glacial crushing and abrasion. *Boreas* 10, 91–105.
- Hodges, J.L. jr. & Lehmann, E.L. 1970: *Basic concepts of Probability and Statistics*. 2. ed. Holden-Day, Inc., San Fransisco. 441 pp.
- Jørstad, F. 1957: Blokk- og steintellinger i Solør. *Norsk Geol. Tidsskr.* 37, 257–266.
- Olsen, L. 1979: *Kvartærgeologiske undersøkelser i Ø. Gausdal–Lillehammer området, Oppland. Isbevegelser, jordartskartlegging og morenestratigrafi*. Unpubl. c.r.thesis, Univ. i Bergen, 480 pp.
- Olsen, L. 1980: Runding som feltmetode – et nyttig hjelpemiddel ved kvartærgeologiske undersøkelser. Abstract i *Geolognytt* 15.
- Olsen, L. 1983: A method for determining total clast roundness in sediments. *Boreas* 12, 17–21.
- Pettijohn, F. J. 1976: *Sedimentary rocks*, 3. ed. Harper & Row, Inc., New York. 628 pp.
- Reichel, G. 1961: Über Schotterformen und Rundungsgradanalyse als Feldmethode. *Pet. Mitt.* 1, 15–24.
- Wentworth, C. K. 1919: A laboratory and field study of cobble abrasion. *Jour. Geol.* 27, 507–521.
- Wentworth, C.K. 1936a: An analysis of the study of glacial cobbles. *Jour. Sed. Pet.* 6, 85–96.
- Wentworth, C. K. 1936b: The shapes of glacial and ice jam cobbles. *Jour. Sed. Pet.* 6, 97–108.

NYERE KART FRA NGU

FARGETRYKTE KART (Selges fra Universitetsforlaget, kr. 30,-)

1:250 000	Mandal		Berggrunnsgeologi	1: 50 000	1117 IV	Askvoll	Kvartærgeologi
	Mosjøen		->-		2016 IV	Elverum	->-
	Nordkapp		->-		1917 I	Evenstad	->-
					1815 I	Gran	->-
1: 50 000	2028 I	Beiardalen	Berggrunnsgeologi		1817 II	Lillehammer	->-
	1413 IV	Botsvatn	->-		1713 IV	Nordagutu	->-
	1720 II	Brekken	->-		1935 I	Repparfjorden	->-
	1716 I	Bruflat	->-		1417 IV	Solvorn	->-
	1719 II	Elgå	->-		1917 III	Åsmarka	->-
	1916 IV	Hamar	->-				
	1214 IV	Husnes	->-	1816 I	Gjøvik		Sand og grusressurs
	1916 I	Løten	->-				
	1720 III	Røros	->-				
	1918 III	Stor-Elvdal	->-				
	1918 II	Storsjøen	->-				
	1414 II	Sæsvatn	->-				
1: 20 000	Brandbu	CKL 057058-20	Lunner	CMN 053054-20			Kvartærgeologi
	Brattli	HUV 269370-20	Lygna	CMN 057058-20			->-
	Drammen	CHJ 041042-20	Mosjøen	DMN 181182-20			->-
	Gran	CMN 055056-20	Olderskog	DOP 181182-20			->-
	Grymyr	CKL 055056-20					
	Jømna	CWX 065066-20	Skei	BQR 115116-20			->-
	Kulstad	DMN 183184-20	Stiklestad	CUV 135136-20			->-
	Langvasseid	HST 269270-20	Tromsdalen	CUV 133134-20			->-
	Levanger	CST 133134-20	Varedfjell	DOP 183184-20			->-
1: 10 000	Helgja	BW 030-10					Kvartærgeologi

KART I SVART/KVITT (Selges direkte fra NGU i form av lyskopier. Pris kr. 12,- for papirkopi og kr. 100,- for folietransparent)

1:250 000	Bodø		Berggrunnsgeologi	(Foreløpig utgave)
	Lillehammer		->-	->-
	Røros		->-	->-
	Stavanger		->-	->-
	Sveg		->-	->-
	Tromsø		->-	->-
	Vega		->-	->-
1: 50 000	2135 I	Adamsfjord	Berggrunnsgeologi	(Foreløpig utgave)
	1611 IV	Arendal	->-	->-
	1517 III	Borgrund	->-	->-
	1318 III	Breim	->-	->-
	1218 II	Fimlandsgrend	->-	->-
	1817 III	Follebu	->-	->-
	1927 I	Mo i Rana	->-	->-
	1418 II	Mørkrisdalen	->-	->-
	1824 I	Namskogen	->-	->-
	1818 I	Sollia	->-	->-
	2029 III	Strømøen	->-	->-
	1518 III	Sygnefjell	->-	->-
	1533 III	Takvatnet	->-	->-
	2135 II	Ul'lugai'sa	->-	->-
	1316 II	Ulvik	->-	->-
	1316 III	Voss	->-	->-
	1521 II	Hølonda	Ressursforvaltning	
	1521 I	Orkanger	->-	
	1612 III	Støren	->-	
	1612 IV	Trondheim	->-	

En liste over andre kart (hydrogeologi, geokjemi, geofysikk) utgitt av NGU er tilgjengelig på forespørsel.

Nr. 379



NGU
Norges geologiske
undersøkelse

NGU Nr. 379

© Norges geologiske undersøkelse/Universitetsforlaget 1983

ISBN 82-00-31453-7
ISSN 0377-8894

Printed in Norway by Sentrum Trykk, Trondheim

Universitetsforlaget