

Rundingens og petrografiens innflytelse på sprøhet og flisighet av naturlige grusforekomster, belyst ved eksempler fra noen norske dalfører

KARL ANUNDSSEN, TORLEIV MOSEID & REIDAR TRØNNES

Anundsen, K., Moseid, T. & Trønnes, R. 1981: The influence of roundness and petrography on brittleness and flakiness in natural gravel deposits, illustrated by examples from some Norwegian valleys. *Norges geol. Unders.* 363, 45-77.

Gravel deposits in five Norwegian valleys have been investigated with regard to petrographic composition, roundness, transport directions, brittleness and flakiness. These parameters are all found to be very complex. However, the brittleness and flakiness along Surnadalen are more consistent in the fluvial than in the glaci-fluvial material, but this is not the case in Suldalen. The glaci-fluvial material is normally less rounded than the fluvial, which is however influenced by the petrographic composition. The brittleness is found to be influenced by the petrographic composition of the gravel, but perhaps more by the roundness. This latter is presumably due not only to enrichment of the strongest particles by continued fluvial treatment, but also to the roundness itself.

K. Anundsen, *Geologisk Institutt avd. B, Universitetet i Bergen, N-5014 Bergen - Universitetet, Norway*

T. Moseid & R. Trønnes, *Geologisk Institutt, Norges Tekniske Høgskole, N-7034 Trondheim - NTH, Norway*

Innledning

Med midler fra Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, har Karl Anundsen drevet et forskningsprosjekt med det mål å finne eventuelle relasjoner mellom en grusforekomsts dannelsesbetingelser/geografiske beliggenhet på den ene siden, og dens styrke-parametere på den andre, for om mulig å oppnå et hjelpemiddel til å lokalisere gode grusforekomster. Det legges her fram resultater av de undersøkelser som ble foretatt mens Anundsen var ansatt ved NTH.

Styrke er her definert ved sprøhet (utført ved fallproven), og flisighet, hvis ikke annet er nevnt. I teksten forkortes sprøhet til S og flisighet til f.

Det er tidligere funnet en sammenheng mellom et stein/grusmateriales petrografi og dets styrke (Anundsen 1977). I Sverige er en liknende sammenheng funnet ved sammenstilling av et stort antall resultater (Høbeda 1977). Relasjonene som Høbeda (1977) finner må imidlertid være meget grove, idet det under forfatterens arbeide viste seg å eksistere mange lokale forhold som ga store styrkevariasjoner innen et begrenset område. Slike forhold vil i det foreliggende arbeide bli tatt fram for om mulig å gi et mer nøyaktig lokaliserings-hjelpemiddel. Moseid og Trønnes har tatt sine siv.ing.-grader på prosjektet, h.h.v. i Surnadalen og i Sunndalen. Anundsen har vært leder av prosjektet, veileder for Moseid og utformet oppgaven for Trønnes, undersøkt de øvrige

områder, og delvis viderebearbeidet Moseid's og Trønnes' materialer og resultater. Ragnar Dahl har vært veileder for Trønnes, og gitt gode råd i forbindelse med arbeidet i Sunndalen.

Problemstilling

Undersøkelsene har tatt utgangspunkt i følgende hypotese: Det må være en sammenheng mellom sprøhet og petrografi. Da bergartstypen endrer seg fra sted til sted, må det finnes en sammenheng mellom en grusforekomsts beliggenhet og dets styrke. Dette er også påvist ved å sammenstille en del data fra div. hovedoppgaver (Fig. 2), og ikke minst ved sammenstillingen av et stort antall data fra Sverige (Høbeda 1977).

Fra forskjellige steder har fragmenter av fast fjell blitt ført med av breer, breelver og «normale» elver, og blitt avsatt som grusforekomster. Dette materialet er videre blitt utsatt for erosjon, transport og akkumulasjon. De svakeste partiklene slites fortest ned, og det må etter hvert bli en prosentvis økning av sterke bergartsbruddstykker i grusfraksjonen, forutsatt intet nytt tilskudd av svakere korn. Derfor må en regne med at den relasjon en har funnet mellom beliggenhet og styrke er meget grov. Det har vært et siktemål å forsøke å finne årsaken til interne variasjoner (av kvalitet) innen et begrenset område, og om mulig lage et redskap til å anta en kvalitet med større presisjon. For å oppnå dette må en foreta meget detaljerte undersøkelser av transportretning, petrografisk sammensetning, rounding, sprøhet og flisighet.

Det må presiseres at undersøkelsene ikke gjelder massenes egnethet til f. eks. betongformål. Hvorvidt styrkesten (fallproven) er relevant for å vurdere masser til betong, vil bli tatt opp av Anundsen i et senere arbeid.

Metoder

Skal en kunne avsløre eventuelle korrelasjoner som nevnt, må en løse transportspørsmålet, d.v.s. gjøre undersøkelser over transportretningene til forekomstenes enkelte bestanddeler. I Surnadalen, Sunndalen, Sogndalsdalen Suldalen og og Setesdalen (Fig. 1) er følgende jordarter undersøkt: morene, glasifluvialt og fluvialt materiale. Hele dalfører med sidedaler er valgt for å kunne kontrollere hva som skjer med et grusmateriale under transport, og hvor det skjer forandringer med det. Dalfører som er innbyrdes ulike m.h.t. bergartstyper, isavsmeltningshistorie og dreneringstype er undersøkt. Det er foretatt analyser av sprøhet, flisighet, rounding og petrografisk sammensetning. Rounding og petrografi er vesentlige for å spore 1) transportretninger og -måter, 2) tilførsler til dalen fra sidedaler. Prinsipielt burde man foreta petrografi- og rundingsanalyser også på den fraksjon som brukes i sprøhets- og flisighetsanalysene. Det er foretatt noen analyser av rounding og petrografi på flere fraksjoner for å se på variasjonene. Rundingsanalyser viser klart at der er en bestemt fraksjon hvor roundingen er optimal, og at roundingen i grovere og finere fraksjoner er lavere. Dette er i overensstemmelse med resultatene til Kaitanen & Ström

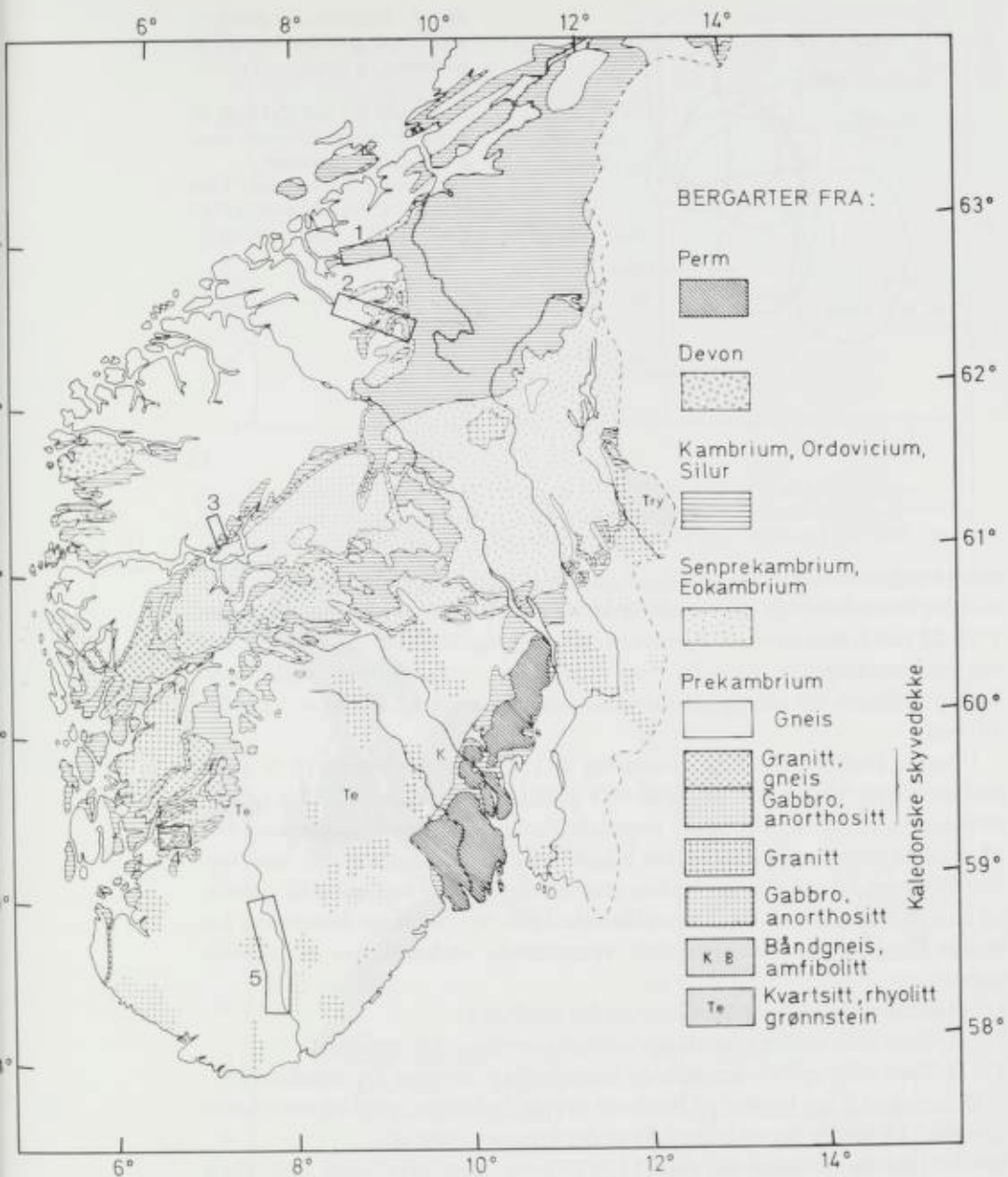


Fig. 1. Beliggenheten av de undersøkte områder. (Berggrunnsgeologisk kart modifisert etter Holtedahl & Dons (1960).

Location of the investigated areas. Geological map modified from Holtedahl & Dons (1960).
1: Surnadalen, 2: Sunndalen, 3: Sogndalsdalen, 4: Suldalen, 5: Setesdalen.

(1978). For særlig grove fraksjoner, og for fraksjoner mindre enn 2 mm, viser egne resultater at rundingen blir tilnærmet den samme i alle typer avsetninger. 25–37 mm er derfor meget nær den fraksjon som forteller mest om et mate-

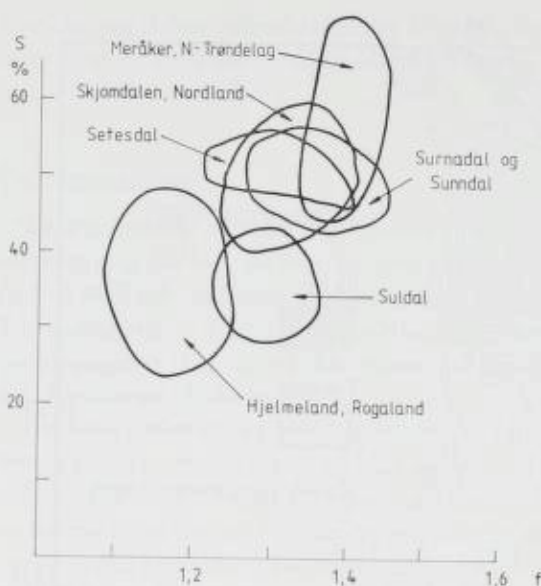


Fig. 2. Sprøhets- og flisighetsverdier på grus fra forskjellige landsdeler og berggrunns-provinser.

Brittleness (S) and flakiness (f) numbers from different areas and bedrock provinces.

Sammenstilt fra/compiled from Hugdahl (1976), Moseid (1976), Rake (1976), Stokke (1976), Anundsen (1977).

riales transporthistorie. Da det 1) ikke er noen lovmessig endring av petrografi med kortstørrelsen, 2) er vanskeligere å identifisere bergartstypen i f. eks. 11,2–16 mm fraksjonen enn i grovere fraksjoner, og 3) er umulig å identifisere dreneringsretningen i 11,2–16 mm fraksjonen, er for letthets skyld brukt samme fraksjon til petrografianalysene som til rundingsanalysene, 19/25–37 mm.

I Norge brukes både 11,2–16 mm og 8–11,2 mm fraksjonene til S- og f-analyse, tilsatt 50% knust overgrus (NS 1962, Statens Vegvesen 1966). Bruk av overgrus er logisk, idet grovt materiale i en naturlig forekomst knuses ned til en passe størrelse, og dels brukes blandet med naturgrus, men dels også som rent knuseprodukt. I Sverige bruker man imidlertid kun naturgrus til testene, og kun på fraksjonen 8–11,2 mm (Høbeda 1966:48). Så langt forfatterne har kunnet finne, er det ikke gjort noen systematiske undersøkelser av følgende forhold:

- 1) Hvilken rolle spiller testfraksjonen for resultatet?
- 2) Hvilken rolle spiller tilsetningen av knust overgrus for resultatet?
- 3) Hvilken rolle spiller mengden og størrelsen av overgrus for resultatet?

Det er gjort S- og f-tester på begge de nevnte fraksjoner, med og uten knust overgrus. De steder det er undersøkt er det kommet fram at:

- 1) 8–11,2 mm er sterkere enn 11,2–16 mm, men ofte også mer flisig (fig. 3, 4 og 5).
- 2) tilsetning av knust overgrus øker materialets styrke i begge fraksjoner i ett område (Fig. 5), men senker den i et annet (Fig. 3b).
- 3) spredningen i resultatene er størst for 11,2–16 mm naturgrus (Fig. 5).

Man kan imidlertid ikke si om den ene fraksjonen/metoden kan fortelle mer om et materiale enn den andre før man har prøvd dem alle i veg- og betongundersøkelser, og sett om man får fram de samme kvalitetsforskjeller der.

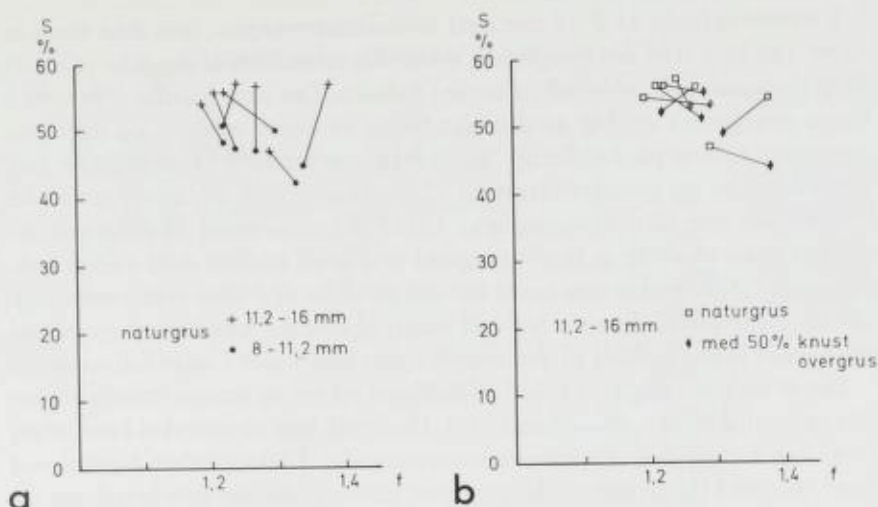


Fig. (3 a). Sprøhet - flisighet på naturgrus 8,0-11,2 og 11,2-16,0 mm, Setesdalen. *Brittleness and flakiness on natural gravel, different fractions, Setesdalen valley.*
 3 (b). Sprøhet/flisighet på 11,2-16,0 mm, naturgrus og med tilsetning av 50% overgrus, Setesdalen. *Brittleness/flakiness (11,2-16,0 mm fraction) on natural gravel, and on a mixture of 50% natural gravel and 50% crushed stones (Conventional method), Setesdalen.*

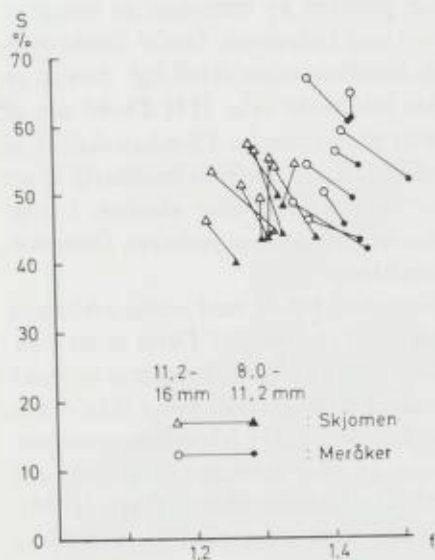


Fig. 4. S-f i div. fraksjoner, med overgrustilsetning, i Meråker og Skjomen. *Brittleness/flakiness on different fractions (mixture), Meråker (Trøndelag) and Skjomen (North Norway).*
 Sammenstilt fra/compiled from Hugdahl (1976) & Stokke (1976), in Anundsen (1977).

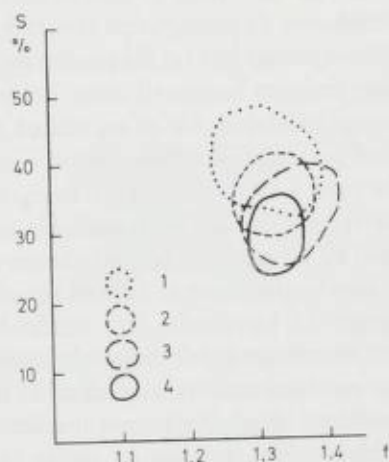


Fig. 5. S-f etter ulike metoder, Suldalen: 1: 8,0-11,2 mm tilsatt 50% knust overgrus, 2: 8,0-11,2 mm naturgrus, 3: 11,2-16,0 mm tilsatt overgrus, 4: 11,2-16,0 mm naturgrus. (Etter Anundsen 1977). *Brittleness/flakiness according to different methods, Suldalen. 1: 8,0-11,2 mm conv., 2: 8,0-11,2 mm natural gravel, 3: 11,2-16,0 mm conv., 4: 11,2-16,0 mm natural gravel. (After Anundsen 1977).*

I testene er brukt 11,2–16 mm med 50% knust overgrus, hvis ikke annet er nevnt. Det kan, etter det foregående, synes som en svakhet at det ikke er utført S- og petrografi-undersøkelser på samme fraksjon. Det mest logiske ville være å foreta petrografisk analyse av den blandingen av knust overgrus og naturgrus som testen utføres på. Imidlertid, der er ikke stor forskjell i kornstørrelse mellom S-fraksjon og petrografi-fraksjon (11,2–16 mm mot 19/25–37 mm), der tilsettes like stor partikkel-mengde av 19/25–37 mm som av 11,2–16 mm, resultater tyder på at der er liten variasjon i petrografi mellom disse snevre fraksjonene, 11,2–16 mm er som nevnt for små partikler til å finne transport-retninger fra. Hensynet til det siste har veid tungt, og den feil som derved gjøres, må være svært liten i forhold til den unøyaktighet som ligger i selve fall-metoden.

Det er en kjent sak at de enkelte S-målinger på ett og samme materiale viser stor spredning (f. eks. Anundsen 1977). Dette må bety at metoden bare meget grovt kan fortelle om et aggregats knusemotstand. Undersøkelser foretatt ved Geol. inst. ved Universitetet i Bergen viser videre at det har stor betydning for resultatet hvilken type knuser man bruker, idet flisigheten på knuseproduktet varierer fra den ene knuseren til den andre.

I foreliggende arbeid er bl. a. søkt etter korrelasjoner mellom S (8–11,2/11,2–16 mm) og runding (19/25–37 mm). Selv om rundingen har sitt maksimum omtrent ved 25–37 mm, vil en slik korrelasjon fortsatt være meningsfylt, da 1) rundingen enda ikke er «visket» ut i S/f-fraksjonen, og 2) rundingen i 25–37 mm forteller noe generelt om transportlengde og -måte.

Det er sannsynlig at testresultatet kan påvirkes av størrelsen av overgrus-fraksjonen, da petrografen ofte endrer seg med fraksjonen. Derfor burde overgrusen strengt tatt tas fra en stor mengde materiale (flere ti-tall kg), dersom en grov fraksjon brukes til dette. Derfor har forfatterne valgt (19) 25–37 mm til overgrusfraksjon, for at en ved en rimelig prøvestørrelse (5–6 kg) skal få så bred petrografisk representasjon som mulig. Derved står man imidlertid i fare for også å få påvirkning av overgrusens rundingsgrad, eller glatthet, i langt større grad enn om overgrusen ble tatt fra en mye grovere fraksjon. Dette forhold vil bli nærmere belyst i slutten av artikkelen.

Rundingsanalyser er foretatt visuelt (Bergersen 1964), med rundingsklassene kantet (k), kantrundet (kr), rundet (r), og godt rundet (gr). Dette er en etablert kvartærgeologisk undersøkelsesmetode, men i tidligere publiserte arbeider om grusforekomsters anvendbarhet til veg- og betongformål synes ikke denne metodens betydning å være trukket inn. Imidlertid er i laboratorietester forholdet mellom runding og styrke tatt opp av flere forskere, f. eks. Høbeda (1966), Grønhaug (1964, 1967), Woolf (1937), Moavenzadeh & Goetz (1963). Når et korn har høy rundingsgrad, vil dette også være glatt (se Grønhaug 1967), forutsatt at det er uforvitret.

En kan ikke se bort fra at subjektive vurderinger har betydning for rundingsfastsettelsen. En kan derfor ikke ta rundingsgraden som et absolutt mål for rundheten, og heller ikke sammenligne runding fra ett område (én persons vurdering) til et annet. De variasjoner en finner i rundingsgrad i ett område vil imidlertid være reelle.

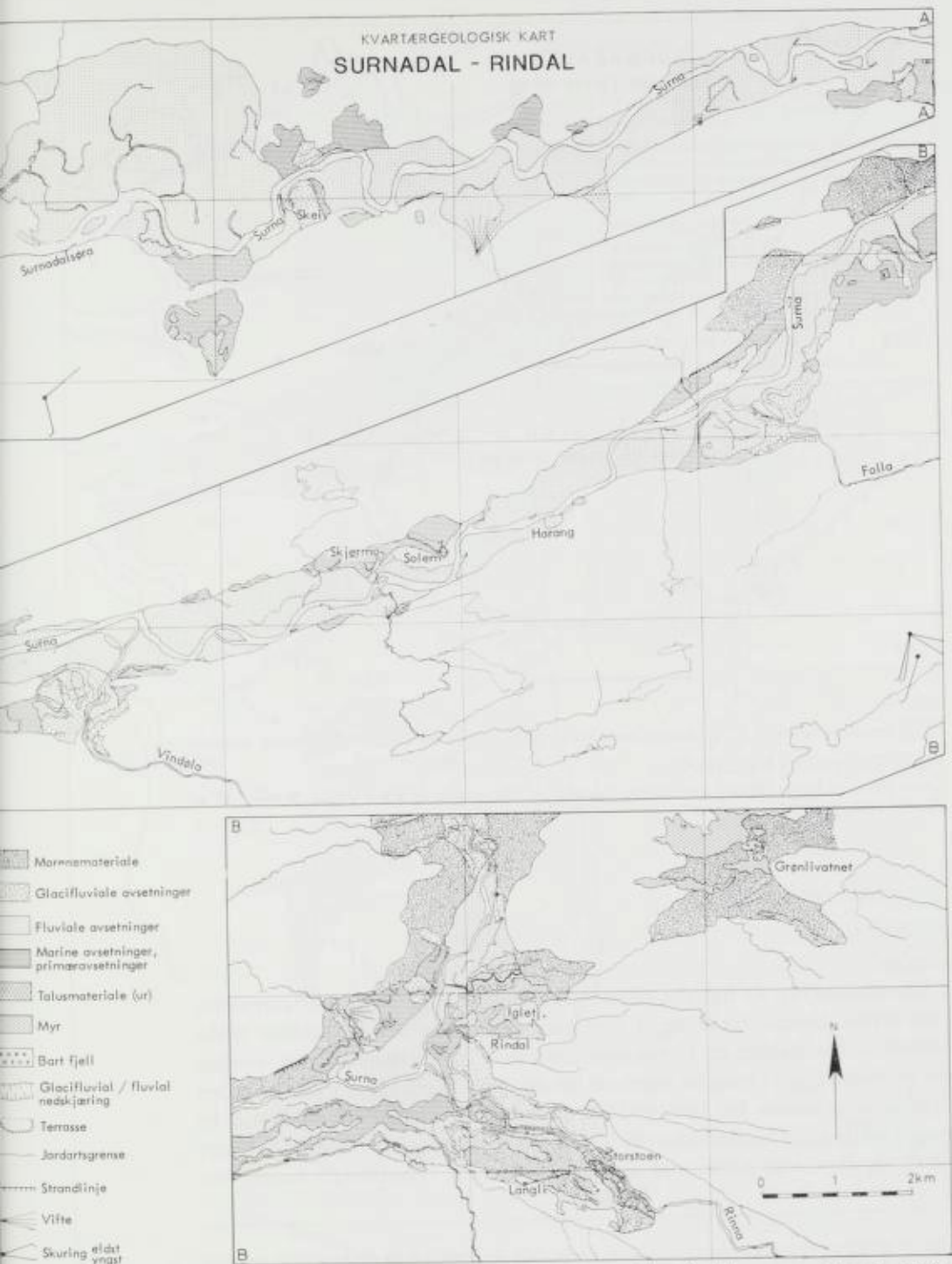


Fig. 6. Fordelingen av de ulike jordarter i Surnadalen. Modifisert etter Moseid (1976). A og B er profilene på fig 7.

Distribution of the different types of deposits, Surnadalen valley. Modified from Moseid (1976). A and B are the profiles in Fig. 7.

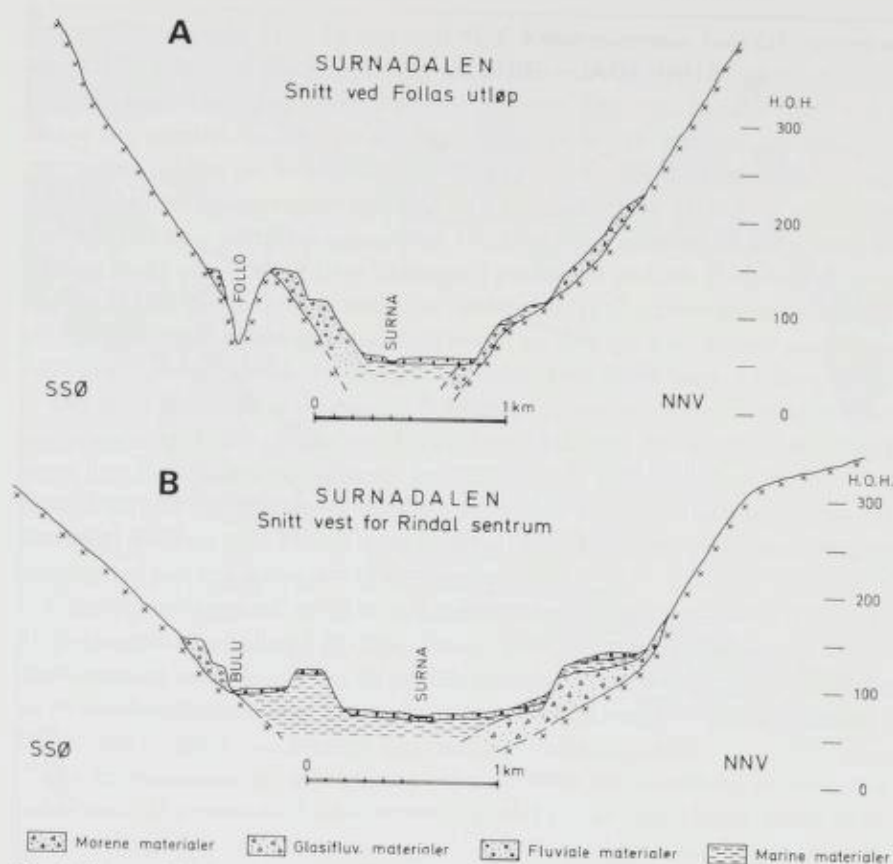


Fig. 7. Tverrprofiler fra Surnadalen.

Cross profiles from Surnadalen valley. Above: At the outlet of river Folla. Below: W of Rindal village.

Regionale beskrivelser

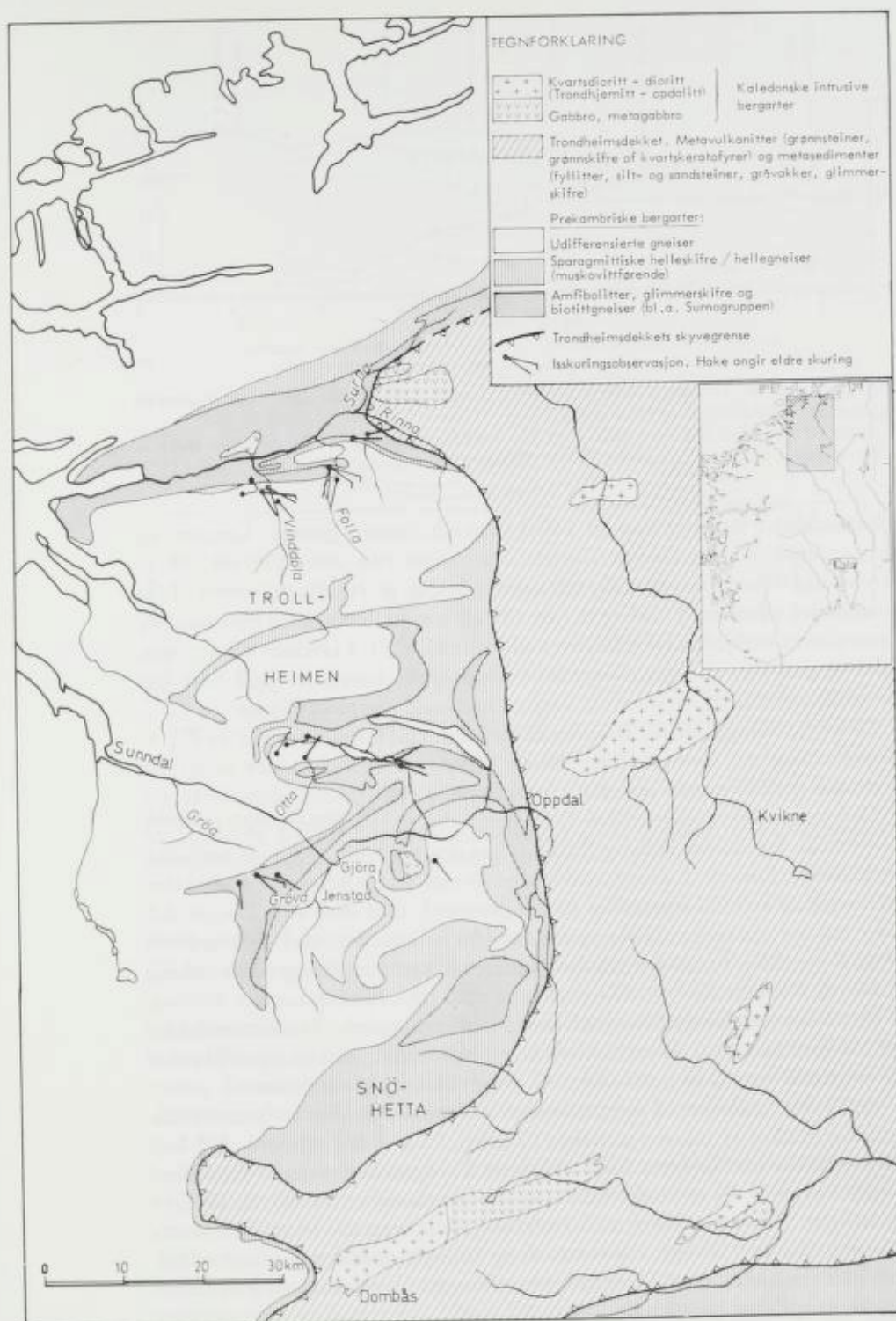
SURNADALEN

Geologi

I Surnadalen (Fig. 6) fins det store løsavsetninger. Fig. 7 viser et tverrprofil, med typisk løsmassefordeling. I den østlige delen er det i dalsidene tykke masser av hardpakket og forholdsvis finstoffrik bunnmorene. I den vestlige del av dalen (Fig. 7) mangler stort sett bunnmorene. Generelt er morene sjelden nyttbar som ressurs for betongtilslag direkte. Bunnmorene er imidlertid en meget viktig kilde for dannelsen av betong- og vegmaterialer, ved at de har vært utsatt for fluvial og glasifluvial erosjon og sortering. Glasifluviale masser fins

Fig. 8. Berggrunnsgeologi (modifisert etter Holtedahl & Dons 1960) og isskuring omkring Surnadalen-Sunnaldalen.

The bedrock geology (modified from Holtedahl & Dons 1960) and glacial striae around Surnadalen and Sunndalen valleys.



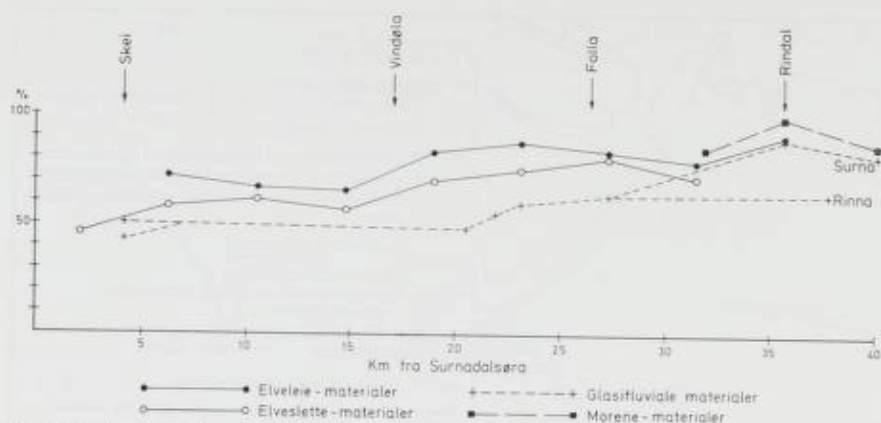


Fig. 9. Innhold av Trondheimsfeltets bergarter (lengdeprofiler) i de ulike avsetningstyper, Surnadalen. Modifisert etter Moseid (1976).

Content of volcanics and sediments from the Trondheim region in the different types of deposits (long profiles) Surnadalen valley. Modified from Moseid (1976).

i Surnadalen i terrasser opp til 140–147 m o.h. (marin grense). Utenom, og delvis under, de glasifluviale/fluviale avsetninger fins ofte leire/silt. På et lavere nivå finner man fluviale terrasserester som er ytterligere sortert. Like over elvens nåværende nivå er der en til dels ganske bred slette med sand og grus, ofte av beskjeden tykkelse, over silt/leire (Fig. 7). I elveleiet vil det være sand og grus som er i mer eller mindre kontinuerlig transport. Også høye terrasser kan helt bestå av leire/silt, særlig i områdene nærmest fjorden.

De berggrunnsgeologiske hovedtrekkene i Surnadalsområdet er vist på Fig. 8. Trondheimsfeltets lavmetamorfe basiske vulkanitter og sedimenter overlager tektonisk det NV-norske gneiskomplekset.

Den vestlige skyveggen for Trondheimdekket går i følge Råheim (1979) ved Rindal. Surnadalen vest for Rindal følger den VSV-ØNØ-gående Surnadalsynklinalen. Sentralt i denne synklinalen finnes amfibolitter, glimmerskifer, marmor og kalksilikatbergarter (Surna-gruppen). I en smal sone i begge dalsider opptrer sen-prekambriske sparagmittiske hellegneiser, og i fjellområdene N og S for dalen finnes gneiser med varierende sammensetning (hovedsakelig diorittisk – granittisk).

Under den kaledonske metamorfosen og innskyvningen av Trondheimsdekket ble imidlertid endel av de prekambriske amfibolittene i Surna-gruppen påvirket og undergikk retrograd omvandling til grønnskifer og grønnsteiner.

Ved isskuringsstriper og retningsanalyse av morenestein har en funnet «matnings»-retningen av morene-materiale til dalen. På et tidlig tidspunkt har isen i Surnadal-området kommet fra Trollheimen i syd, og derfor matet dalen med Trollheims-gneis. På et senere tidspunkt har isen kommet fra SØ, og derfor i de østligste deler matet dalen med Trondheimsfelt-bergarter. På et enda senere tidspunkt har isen beveget seg vestover, og langs, hoveddalen (Moseid 1976). Den glasifluviale og fluviale transport har foregått fra sidedalene og ut til hoveddalen, og langs hoveddalen.

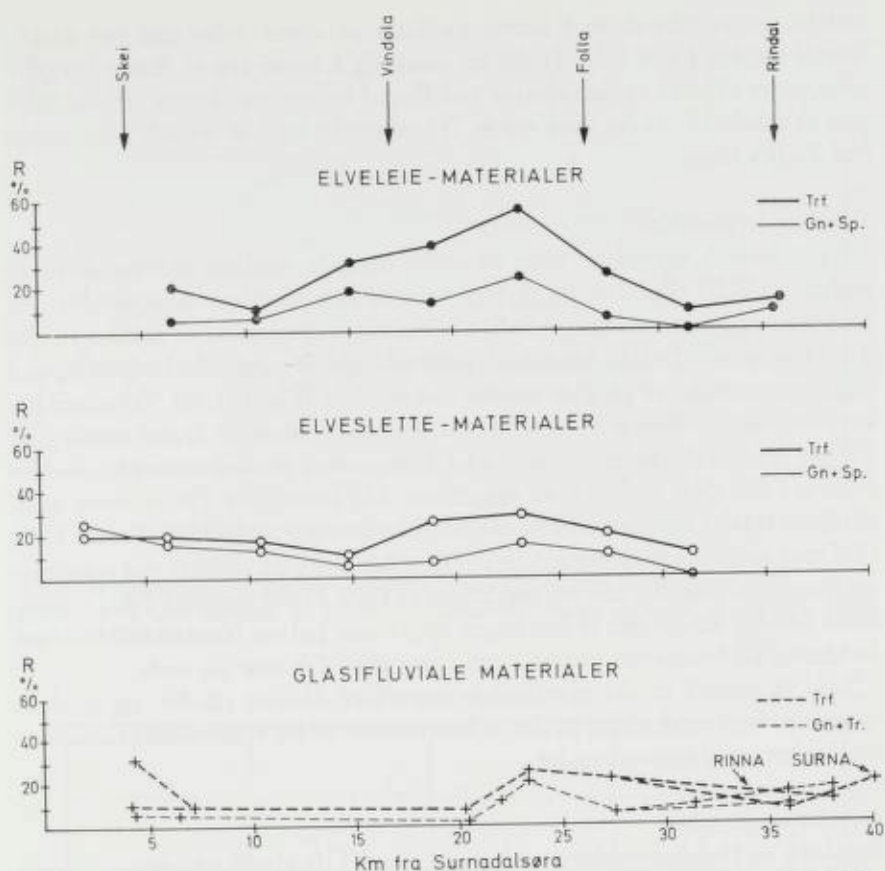


Fig. 10. Runding (lengdeprofiler) av de enkelte avsetningstyper og petrografier, Surnadalen. Modifisert etter Moseid (1976).
Roundness (% rounded + well rounded particles) of the different types of deposits and petrographies, Surnadalen valley. Modified from Moseid (1976).

Petrografisk sammensetning av løsmassene

Det er altså vanskelig ut fra transportvurderinger å forutsi hvordan den petrografiske sammensetningen vil være i massene i Surnadalen. Unntak danner 1) morenematerialet i den østlige delen, som består av mye Trondheimsfelt-bergarter (Fig. 9), 2) det glasifluviale materialet i øst som derfor også inneholder meget Trondheimsfelt-bergarter (Trf.), 3) den nåtidige dreneringen fra sidedalene som ventelig skulle gi Trollheimsgneis til hoveddalen, ved erosjon i fast fjell.

Det glasifluviale materialet blir fattigere på Trf umiddelbart nedstrøms Folla (Fig. 9). Dette er rimelig, da en må vente at smeltevann fra Folla har forsynt dalen med gneis. Det er derfor overraskende at fluvialt materiale, særlig elveleiemateriale, inneholder mye Trf også nedstrøms Folla's tilløp. Det fluviale materialet må derfor ha kommet nedover hoveddalen. Men da Trf-innholdet i elvematerialet er høyere enn i både det glasifluviale og det øvrige fluviale ma-

teriale, synes ikke dette å kunne forklares på annen måte enn ved nåtidig fluvial erosjon i fast fjell, da det er vanskelig å tenke seg at denne bergartsgruppen er så sterk at den anrikes ved fluvial behandling. Dette forhold kommer vi tilbake til, da det viser seg at Trf-materialet også er spesielt godt rundet ved Folla's tilløp.

Runding av partikler

De *glasifluviale* materialer viser en svakt stigende runding nedover dalen til nedstrøms Folla (Fig. 10), og skyldes ventelig den naturlige transportlitasjen. Den brå nedgangen nedstrøms Folla skyldes ventelig tilskudd av mindre rundet Trollheimsgneis. Det er imidlertid overraskende at også *alle* bergartstyper i elveleie-materialer er så godt rundet akkurat her (Fig. 10), da Trf-materialet her som nevnt må være kommet østfra. En skulle vente en lavere runding av Trf her dersom det høge innholdet av Trf-bergarter i elveleie-materialer skyldes erosjon i fast fjell umiddelbart oppstrøms. Og hvorfor er Trf-begatene igjen dårligere rundet nedstrøms Folla når det ikke kommer tilskudd av Trf fra Folla (Trf som kunne være dårlig rundet)? Dette kan være en svakhet ved rundingsanalysen som metode, idet en må huske at (19) 25–37 mm ved Folla's tilløp betyr kanskje 40–50 mm få km lenger oppstrøms i elven (Goede 1975). Noen forklaring på fenomenet utover dette synes ikke å kunne gis enda.

Med få unntak er det *glasifluviale* materialet dårligst rundet, og elveleie-materialet best rundet, som er det en kunne vente ut fra materialenes dannelsesbetingelser og transportlengder.

Sprøhet og flisighet

Sprøhets- og flisighetsverdiene endrer seg meget i de *glasifluviale* avsetningene langs dalen (Fig. 11), men tilsynelatende uavhengig av bergartssammensetningen (Fig. 9). I de *fluviale* materialene er verdiene *jevne* (Fig. 11), selv om bergartssammensetningen endrer seg minst like meget som i de *glasifluviale* materialene. Dette kan på en eller annen måte skyldes det faktum at de *fluviale* massene har vært utsatt for den lengste transporten. Ved sammenligning mellom Figs. 11, 9 og 8 kan en konkludere at der er ingen trekk som umiddelbart viser hvor en (i dette området) kan finne materialet med lavest sprøhet og flisighet ut fra berggrunnskartlegging og petrografiske undersøkelser alene. Det er imidlertid mulig at det kan spores en svak avtagende sprøhet (logaritmisk petrografi-skala) med tiltagende Trf-innhold, på bekostning av gneis, i de *glasifluviale* materialene (Fig. 12). (Trf er her glimmerskifer, grønnstein m. fl.). Spredningen er imidlertid stor, og rundingen er meget varierende (Fig. 13).

Ved undersøkelse av forholdet gneis-sprøhet, Trf-sprøhet hver for seg, finner en at økende innhold av gneis øker sprøheten omtrent like meget som økende Trf reduserer den. Hver parameters innvirkning er derfor vanskelig å skille ut. Dersom det eksisterer en forskjell i sprøhet mellom de enkelte jordartstyper (Fig. 11 og 12), tross ens sammensetning, må dette i stor grad ha ikke-petrografiske årsaker. Det er derfor nærliggende at forskjellig transportmåte eller -lengde kan ha betydning, dvs enten 1) at det ved fluvial transport skjer en

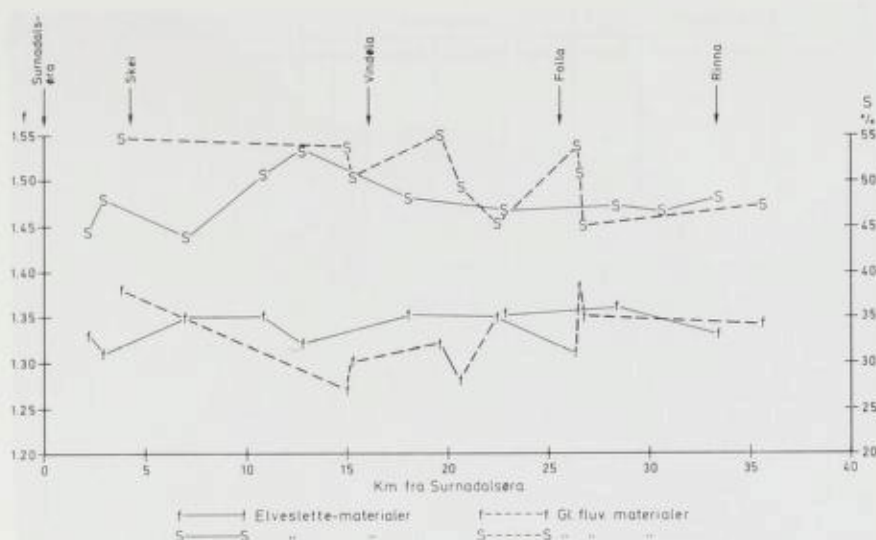


Fig. 11. Lengdeprofiler av prøbet og flisighet, Surnadalen. Etter Anundsen (1977). *Brittleness (S) and flakiness (f) of the glaciifluvial and fluvial deposits, Surnadalen. From Anundsen (1977).*

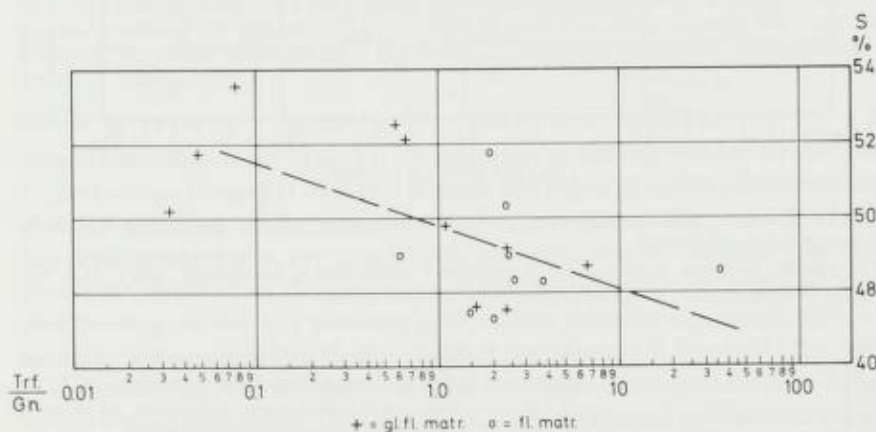


Fig. 12. Sprøhet og petrografi, Surnadalen. Forholdet mellom Trondheimsfeltets bergarter (Trf) og Trollheimsgneis (Gn) er framstilt logaritmisk. Modifisert etter Moseid (1976). *The relation between brittleness, and petrographic composition, in glaciifluvial (+) and fluvial (o) deposits, Surnadalen valley. Trf. are the volcanics and sediments from the Trondheim area, and Gn the gneisses from the Trollheimen area. Logarithmic horizontal scale. Modified from Moseid (1976).*

knusing av de svake, og dermed anrikning av sterke korn, eller 2) at avrundingen av kornene influerer på sprøheten. Fluviale materialer er ofte bedre rundet enn de glasifluviale (Fig. 13).

Sprøhet og rounding

Ved undersøkelse av sprøhet og rounding spesielt (se over), finner man klart en økende styrke av grusmaterialer med øket rounding, for alle jordarter og

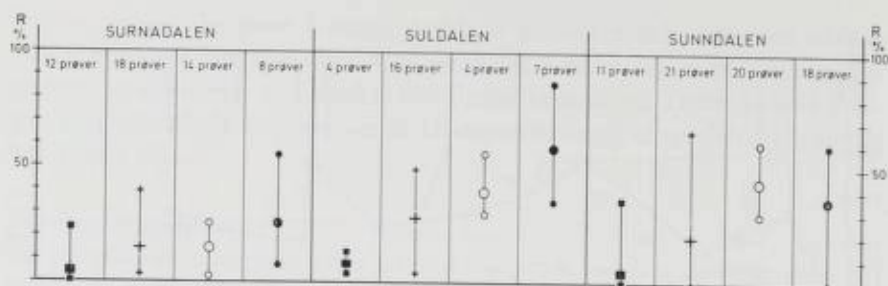


Fig. 13. Rundingen av forskjellige avsetningstyper i Surnadalen, Sunndalen og Suldalen. Middelverdien (uthevet) og variasjonsbredden er vist.

The roundness of different deposits in the valleys of Surnadalen, Sunndalen and Suldalen. The mean values and variation limits are shown.

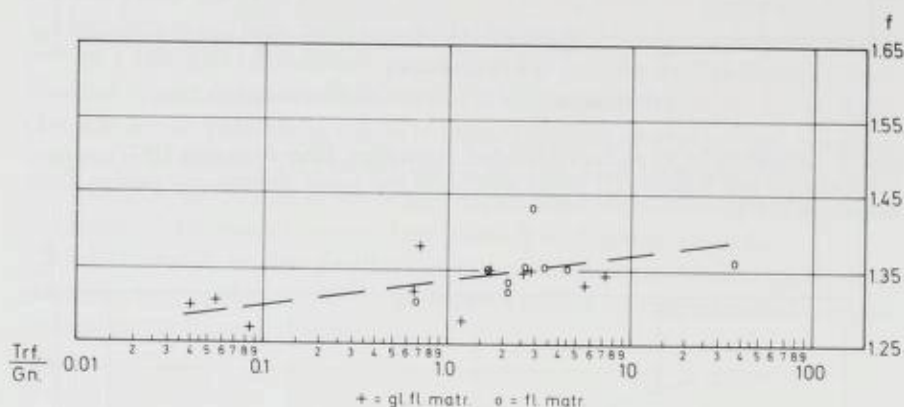


Fig. 14. Forholdet mellom flisighet og petrografi, Surnadalen. Ellers som på fig. 13. Modifisert etter Moseid (1976).

The relation between flakiness and petrographic composition, Surnadalen valley. (See Fig. 13 for further explanations). Modified from Moseid (1976).

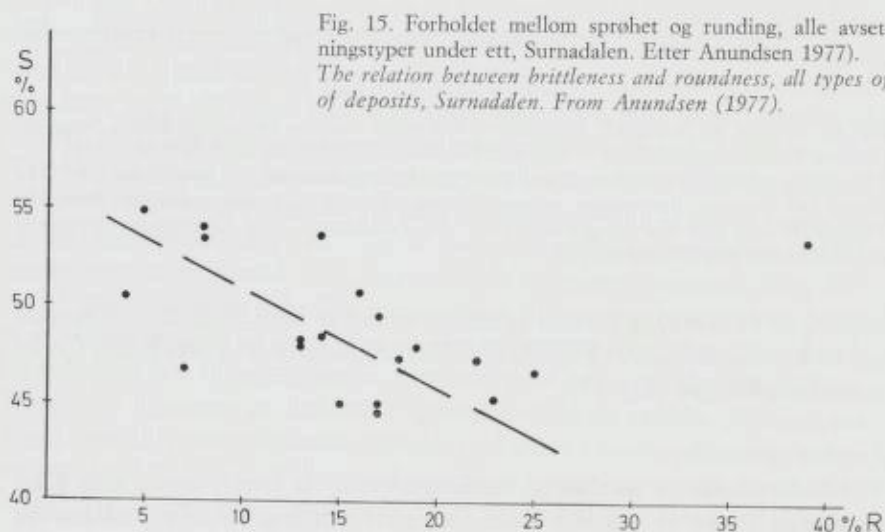


Fig. 15. Forholdet mellom sprøhet og runding, alle avsetningstyper under ett, Surnadalen. Etter Anundsen (1977). The relation between brittleness and roundness, all types of deposits, Surnadalen. From Anundsen (1977).



Fig. 16. Sunndalen sett mot øst fra Hoås. I forgrunnen elveleiematerialer og elveslette. Midt på bildet terrasser, og i bakgrunnen glasifluvialt delta (Gikling). Foto: R. Trønnes. *Sunndalen towards the east, from Hoås. In the foreground river-bed materials and the flood plain. In the centre river terraces, and in the background glacialfluvial delta (Gikling). Photo: R. Trønnes.*

bergarts sammensetninger (Fig. 15). Spredningen er kanskje mindre enn for forholdet petrografi-sprøhet. Det skal allerede her pekes på at den glasifluviale og glisiale behandling må ha vært meget røffere enn den nåtidige fluviale er. En kan derfor tenke seg at den vesentligste anrikningen av sterke korn i fluviale materialer skjedde i en tidligere transportsyklus. En reduksjon i sprøhet med øket runding må derfor i vesentlig grad skyldes selve formen (rundheten) av kornene. Det er antydning til øket flisighet med økende Trf-innhold (Fig. 14).

Der er bare en svak tendens i Surnadalen til at de fluviale jordarter er bedre rundet enn de glasifluviale (Fig. 13). Både p.g.a. dette og den varierende petrografiske sammensetningen, kan man ikke i Surnadalen lage som noen generell regel at elveleiematerialene er de sterkeste materialene.

SUNNDALEN

Geologi

Også i Sunndalen (Fig. 16) er det meget betydelige kvartære avsetninger. Et typisk tverrprofil av Sunndalens masser er som for Surnadalen (Fig. 7). Ved Hoås og Gikling ligger det raddeltaer (Sollid 1964). Eldre enn disse er eskere og bresjøterrasser ved Jenstad (Nordhagen 1929, 1930). Der er generelt lite bunnmorene i området, unntatt i dalsidene rundt Jenstad og Ottdalen, hvor de tykke avsetningene er utsatt for ras og bekkeerosjon. Særlig i munningen av elven Grøva ligger det derfor store mengder materiale, dels som (rester etter) en høy glasifluvial vifte, men særlig som en betydelig recent vifte. Den petro-

grafiske sammensetningen av viftene er derfor trolig sterkt influert av morenes sammensetning. Ved Hovhjellen og Linset i Litledalen er det også randdeltaer og terrasselandskap. Randdeltaene er avsatt av breer fra sør, fra bergarter som er forskjellige fra bergartene i hoveddalen.

Fig. 8 viser de berggrunnsgeologiske hovedtrekkene i Sunndalsområdet. Gneisområdet vest for Oppdal består av vekslende bergartsenheter i form av to separate dekkekomplekser over autokton basalgneis med overlagring av sparagmittiske hellegneiser og hornblende – glimmerskifre (Eggen et al. 1979).

Langs Sunndalen vest for Gravem opptrer migmatittiske, hovedsakelig granodiorittiske biotittførende basalgneiser i Frei-gruppen (Råheim 1972). Det andre dekkekomplekset øst for Gjora domineres av øyegneiser, metagabbro og ultramafiske bergarter. Det øvre dekkekomplekset inneholder bl. a. sparagmittiske hellegneiser, amfibol–glimmerskifre og amfibolitter. Trondheimsfeltets metasedimenter og metavulkanitter med enkelte gabbroide–kvartsdiorittiske intrusjoner overlager gneisområdene tektonisk. Skyvegrensen for Trondheimsdekket går omtrent N–S forbi Oppdal og følger Drivdalen sørover mot Hjerkin–Snøhetta-området (Roberts 1978). Grønnskifre, fyllitter, silt- og sandsteiner er dominerende bergartsenheter øst for Oppdal–Drivdalen.

Isskuringsstriper og retningsanalyse av stein i morene (Trønnes 1978) viser at isen i tidlige topografisk uavhengige faser beveget seg først mot V–NV og senere mot SV. Det har vært bevegelse også mot dalen fra høgfjellet på nord- og sorsiden, sannsynligvis ved lokalglasiasjon (Fig. 8). Aldersforholdene mellom de ulike regionale stadiene er ikke kjent.

Som i Surnadal er det derfor meget vanskelig å forutsi hvordan den petrografiske sammensetningen vil være i massene.

Petrografisk sammensetning av løsmassene

Med unntak av elveleiematerialer synker innhold av Trondheimsfeltsbergarter mer eller mindre jevnt vestover dalen etter et lokalt minimum i øst. Ved dette minimum er innhold av sparagmittgruppens bergarter tilsvarende høgt (Fig. 17). Gneis øker kraftig umiddelbart nedstrøms tillopet av elven Otta, særlig i elveleiematerialet. Det er rimelig at dette skyldes ras- og erosjonsaktiviteten i Ottadalens morenemateriale, som helt er dominert av kantet gneismateriale. Derfor må en også vente at materialet i elvebunnen er dårlig rundet umiddelbart nedstrøms Otta. Forøvrig er det meget få trekk som man på forhånd kunne slutte seg til av sammensetninger. Man kan merke seg at elvesletteprovene viser innbyrdes liten petrografisk spredning, mens glasifluvium og elveleiematerialer viser stor variasjon. Dette er ikke gjeldende i Surnadalen.

Sammensetningen av Litledalens masser er naturlig (se overst) dominert av gneisbergarter. Imidlertid er det relativt mye sparagmitt og Trondheimsfeltsbergarter i den vestlige del av det resente deltaet i Sunndalsøra. Dette tyder på at tilførselen fra Sunndalen er dominerende i forhold til fra Litledalen.

Sammensetningen av morenemateriale og glasifluvialt materiale ved Jenstad er stort sett preget av den lokale berggrunnen. Da isbevegelsen har vært på tvers av den skiftende lithologi, er der derfor flere muligheter for kilder. Dette gjelder også generelt.

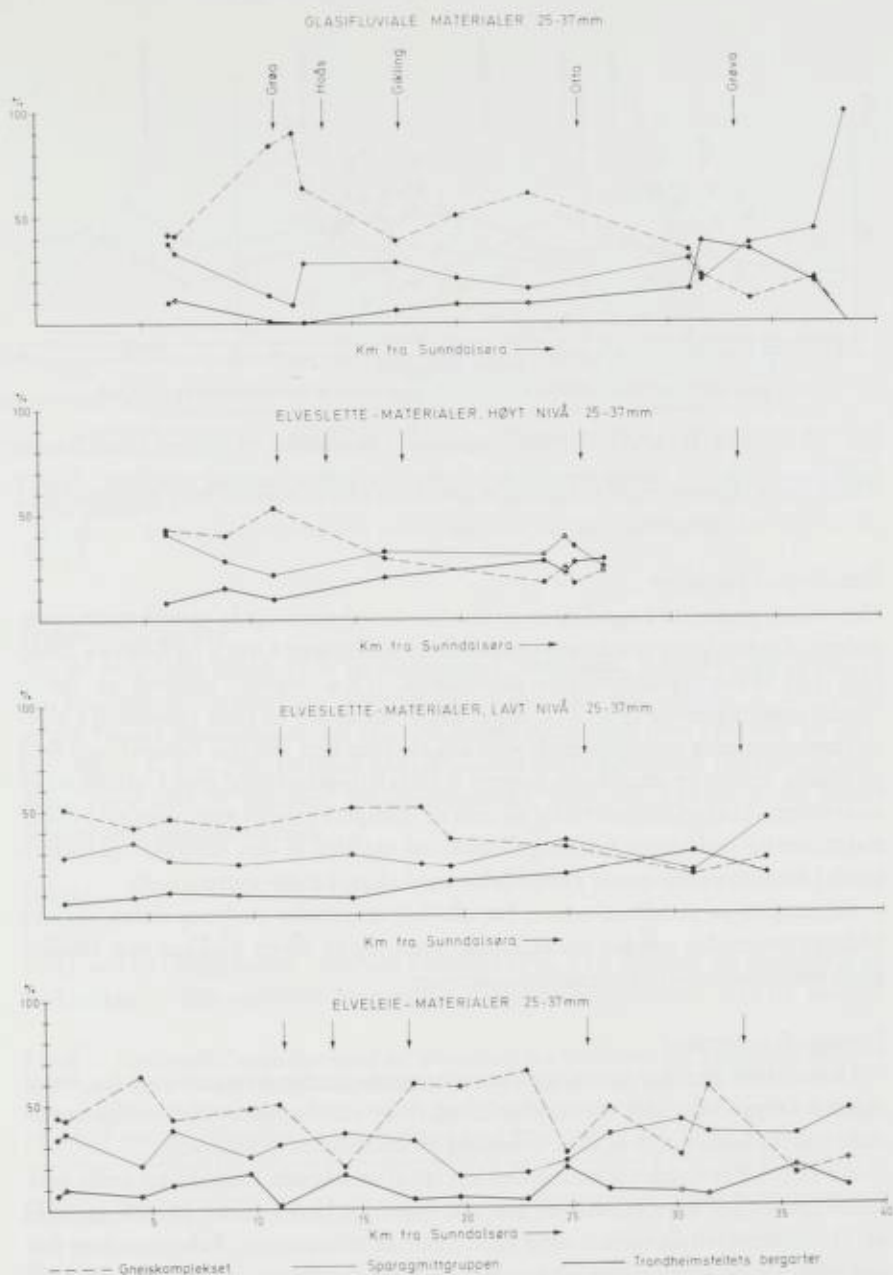


Fig. 17. Petrografisk sammensetning (lengdeprofiler) av ulike avsetningstyper i Sunndalen. En del av gruspartiklene kan ikke med sikkerhet henføres til noen av de tre berggrunnskompleksene. Derfor blir summene (i prosent) mindre enn 100. Modifisert etter Trønnes (1978).

The petrographical distribution in some types of deposits, Sunndalen valley. Glacifluvial deposits (above), high fluvial terraces, low fluvial terraces and river-bed materials (below). «Trondheimsfeltets bergarter» = metasediments and metavolcanics from the Trondheim region. Parts of the gravel particles cannot be ascribed to any one of the three bedrock complexes (the gneis complex, the sparagmite group or the metasediments and the meta-volcanics from the Trondheim region). Thus the percent sums are less than 100. Modified from Trønnes (1978).

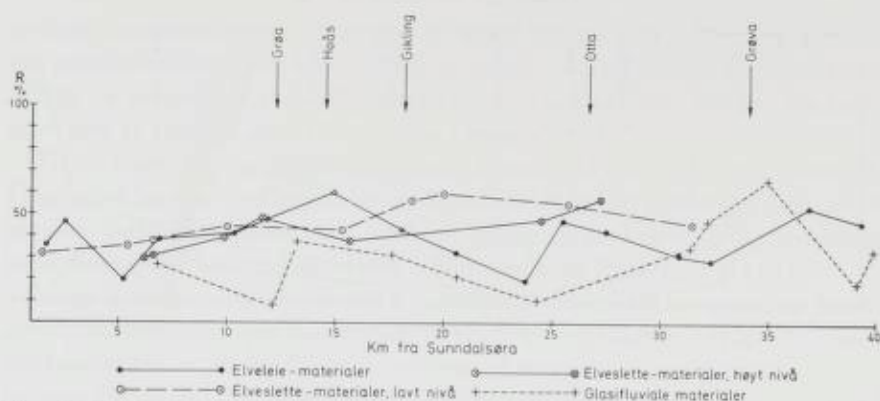


Fig. 18. Runding av forskjellige avsetningstyper i Sunndalen. Modifisert etter Trønnes (1978).

Roundness of different types of deposits in Sunndalen valley. Modified from Trønnes (1978).

Runding av partikler

Det er stor variasjon i rundingen av elveleiematerialene og de glasifluviale materialene. De markerte minimum umiddelbart nedstrøms Otta's og Grova's tillop (Fig. 18) skyldes sannsynligvis glasifluvial, h.h.v. resent, tilførsel av dårlig rundet gneismateriale (Fig. 17). Igjen finner en at der er liten spredning i elveslette-materialenes rundingsgrad, som må skyldes den fluviale behandling. Som en skulle vente, er rundingen høyere i elveslette-materialer enn i glasifluviale materialer. At elveleiematerialer til dels er dårligere rundet enn elveslette-materialer, særlig nedstrøms Otta og Grova, må skyldes at den utstrakte rasaktiviteten i bunnmorener mater hoveddalen med skarpkantet morenestein.

Stigningen av rundingskurven for elveleie-materialer nedover dalen skyldes både at materialet rundes under transporten, og at elven plukker opp relativt godt rundet elveslette-materialer undervegs.

Petrografi – runding

Hovedelven plukker opp skarpkantede gneisbergarter som stammer fra utrast morene langs Otta. Det ser imidlertid ut til at rundingen av det øvrige materiale elven plukker opp også er avhengig av materialets petrografi.

Av Fig. 19 synes det å kunne trekkes ut at et økende innhold av gneis nedsetter rundingen av totalprøven, for alle typer jordarter, mens økende innhold av Trondheimsfeltbergarter øker rundingen av totalprøven. Relasjonene er her noe ulik for de forskjellige jordartene, da også rundingen generelt er noe forskjellig. Økningen av rundingsgraden er imidlertid sterkere enn den prosentvise økningen av Trondheimsfeltbergarter. Det kunne derfor se ut til at denne gruppen bergarter hadde en gunstig innvirkning på rundingen av grusmaterialer. Det ville imidlertid være underlig om bløte Trondheimsfeltbergarter skulle runde skarpkantede harde partikler. Den rimeligste forklaring på disse to relasjoner synes å være at når det først er lite gneisbergarter, er disse samtidig langtransportert.

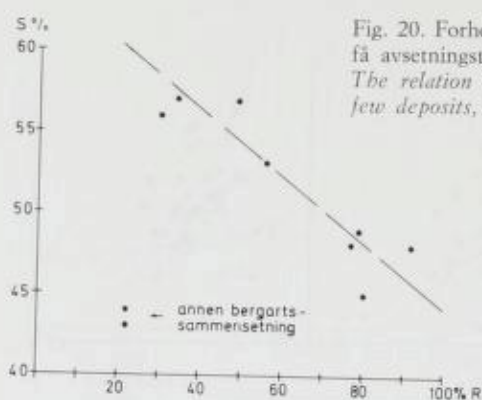


Fig. 20. Forholdet mellom sprøhet og runding for noen få avsetningstyper, Sunndalen. Etter Anundsen (1977).
The relation between brittleness and roundness for a few deposits, Sunndalen. From Anundsen (1977).

alder og dels av kambro-ordovicisk alder. Derover ligger kaledonsk overskjøvne komplekser av antatt prekambrisk alder.

Grunnfjellet består av gneiser, migmatitter, metavulkanitter, sandsteiner og plutonske bergarter (Sigmond 1975). I vest er det foliert, middels- til grovkornet granitt. Ved Suldalsosen er det to brede felt med metavulkanitter (Telemarks suprakrustaler).

De metamorfe suprakrustalbergarter består av svart og grå fyllitt, kvartsglimmerskifer, glimmerrik gråvakke, metavulkanitter, meta-sandsteiner (stedvis «blåkvarts»), kataklasitt.

De kaledonske overskjøvne komplekser består av gneiser av ulike typer – lyse, båndete, folierte-monzogranittisk øyegneis, spredte lag av kvartsitt og glimmerskifer.

Grensen mellom de to øverste etasjene er stedvis skarp, men kan også være jevn, eller lagene kan opptre i veksellagring. Det er ved petrografisk analyse av grusen ofte meget vanskelig å skille bergarter fra de forskjellige etasjer.

Dalføret (Fig. 22) er dominert av glasifluviale og fluviale masser, som i Surnadalen (Fig. 7). De glasifluviale massene opptre som terrasserester langs dalsidene. Massene er avsatt som en sandur foran, og i direkte kontakt med, en isbre. Det er store variasjoner i kornfordelingen, som til dels kan tilskrives materialtilførsel fra sideelver. I hovedsak avtar kornstørrelsen fra blokker og usortert materiale ved Suldalsvatnet til silt ved fjorden. Også i Suldal er det en elveslette langs midtpartiet av dalen.

Det er generelt meget sparsomt med morenemateriale i hoveddalen. Bare i dalsiden sør for Mo er det funnet et tynt dekke. Det er ikke spor etter morenemasser i hoveddalen som kan ha vært opphav til øvrige masser i Suldal. Inn over fjellområdene omkring dalen forekommer morenemateriale hyppigere, ikke minst som randmorener (Anundsen 1972).

Isskuringsbildet er komplisert (Fig. 22). En gammel, topografisk uavhengig bevegelse var mot V til NV, en senere mot SV. En enda yngre bevegelse var

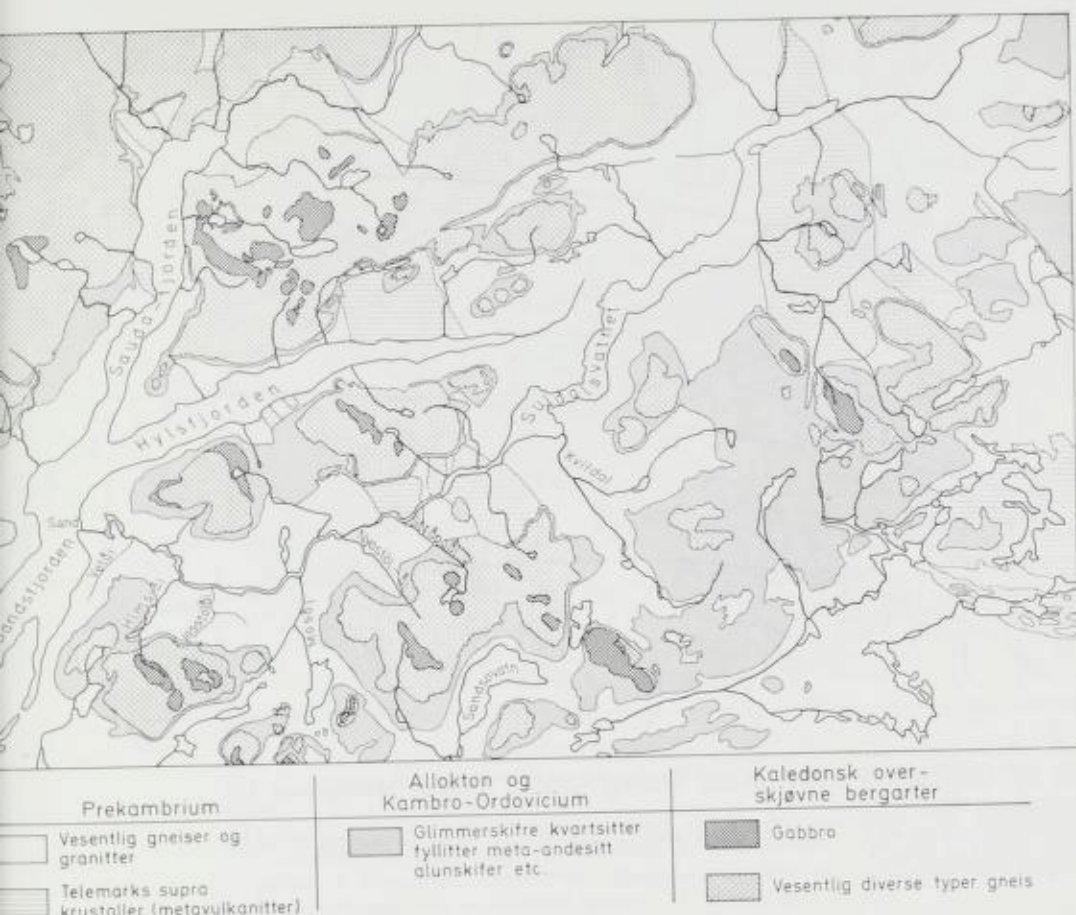


Fig. 21. Berggrunnsgeologisk kart over et område omkring Suldalen, forenklet etter Sigmond (1975).
 Bedrock map from an area around Suldalen valley, simplified after Sigmond (1975).

mot S, på tvers av fjorder og fjellrygger. Enda senere, i Yngre Dryas, var bevegelsen omtrent mot V i Suldal. Under et breframstøt i Pre-boreal «flommet» øvre deler av en Suldal-bre inn over fjellviddene på N- og S-siden av Suldal. Etter dette har isen i Kvildalsområdet beveget seg til dels mot NV igjen.

Hovedtrekkene av dette blir: 1) den vesentligste matingen til Suldal med breer er fra fjellområdene i Ø og SØ, 2) det er kommet et visst tilskudd av masser med breer fra N.

Som vi skal se har den vesentligste glasifluviale transport foregått langs hoveddalen, mens det etter isavsmeltingen har skjedd og skjer en vesentlig sedimenttransport med sideelver til hoveddalen.

Petrografisk sammensetning av løsmassene

De petrografiske analysene er utført av geolog Ruth C. Sørbye, Trondheim. På Fig. 23 er resultatene slått sammen i klasser, dels på grunnlag av antatt styrke,

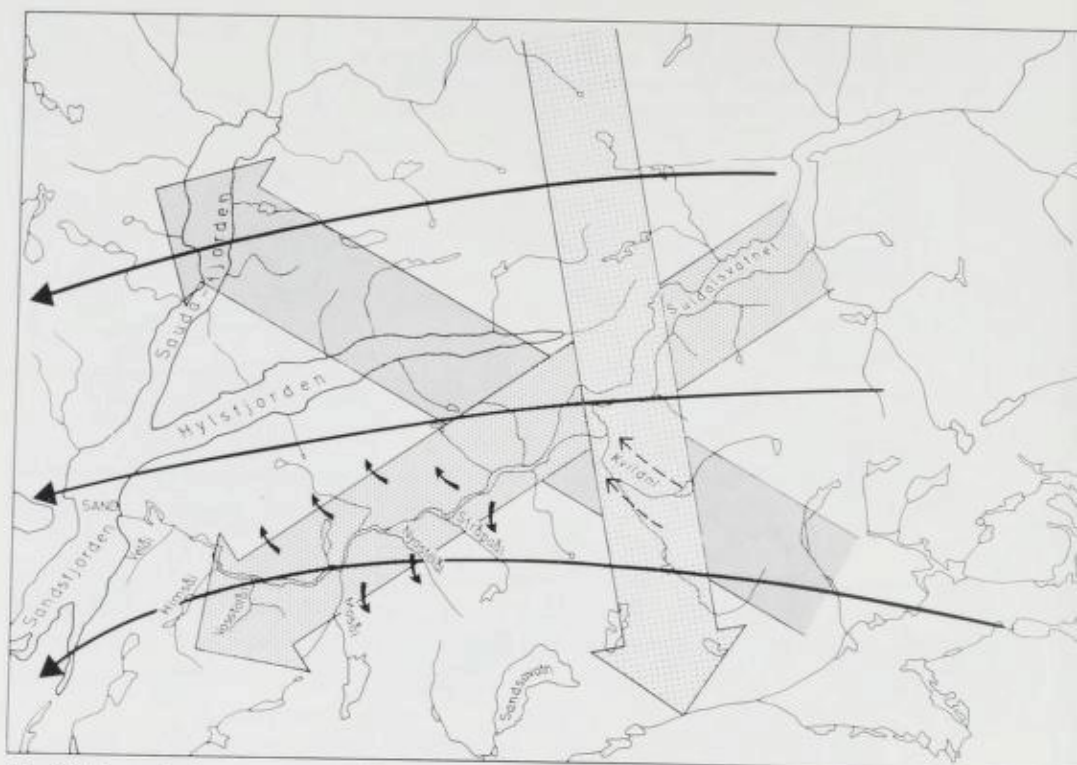


Fig. 22. Grunnriss-kart over et område omkring Suldalen, inntegnet isbevegelsene etter Anundsen (1981).

Sketch-map of an area around Suldalen valley, with the different ice-movement phases after Anundsen (1981).

dels på grunnlag av de enkelte bergartsformasjoner (-etasjer), og dels fordi det er meget vanskelig å skille mellom enkelte av bergartene.

Med grunnfjellsbergarter menes på Fig. 23 alle prekambriske bergarter unntatt Telemarks suprakrustaler. Dette er gjort for lettere å kunne spore eventuell transport fra sideelvene.

For enkelte jordarter er det ikke trukket sammenhengende kurver, da dataene er mangelfulle.

Innholdet av Kambro-Ordoviciske + overliggende bergarter (heretter forkortet til KO+OV) er generelt høyt i de glasifluviale avsetningene, 30–50%. Endringer i sammensetninger generelt skjer ved tillop av sideelver. Variasjonene er imidlertid meget mindre enn i Surnadalen og Sunndalen. Dette kan skyldes at sideelvene i sistnevnte områder er meget mer betydelig i vannføring og erosjon, i forhold til hovedelven, enn de i Suldal. Innhold av KO+OV har minimum umiddelbart nedstrøms tillopet av elvene Veläi, Vasstoläi og Mosäi, og muligens også nedstrøms Nyastoläi. Dette kan enten bety noe overraskende at det glasifluviale tilskudd fra sideelvene består av mye grunnfjellsmateriale (unntatt fra Stråpaäi), eller at noen av de overliggende bergarter er tatt for å være prekambriske (idet de ofte er meget like). Imidlertid er det de samme

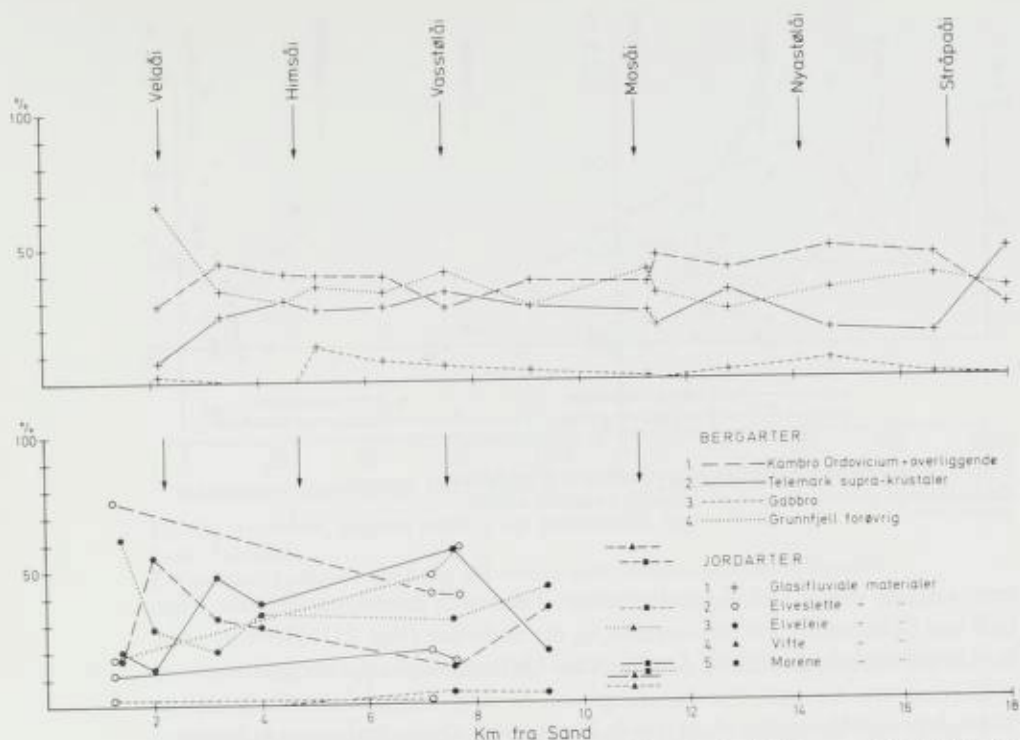


Fig. 23. Petrografisk sammensetning (lengdeprofiler) av forskjellige avsetningstyper, Suldalen.

The petrographic distribution in some types of deposits. «Bergarter» = Petrography. 1: Cambro-Ordovician + overthrusted rocks, 2: meta-volcanics from the Telemark suite, 3: gabbro, 4: remaining precambrian. «Jordarter» = Deposits. 1: Glacifluvial materials, 2: flood plain materials, 3: river-bed materials, 4: alluvial fans, 5: tills.

bergarter man finner i de resente og subresente avsetningene, og analyse av disse viser at den fluviale drenering fra sideelvne etter isavsmeltingen har bestått og består av mer KO+OV enn grunnfjellsmateriale (Fig. 23). Dette siste er også noe man skulle vente ut fra berggrunnsgéologien (Fig. 21). Unntak er Velåi, hvor også den nåtidige drenering frakter mye grunnfjellsmateriale. Dette er naturlig, da det i denne elvens nedslagsfelt er et meget begrenset felt med bergarter fra de øverste bergartsformasjoner. Morenematerialet i dalsiden ved Moåi inneholder hele 34% gabbro. Massene har imidlertid meget begrenset volum i dag, og terrengformene tilsier at morenen heller ikke tidligere har hatt betydning som kilde. Det er derfor rimelig at viften ved Moåi's munning bare inneholder 5% gabbro. Gabbroen i de glasifluviale materialene må derfor ha andre kilder. Denne gabbroen har stor likhet med den i fast fjell i Saudatraktene. Da det videre er observert sørgående bevegelse av en innlandsis (Anundsen 1981), er det mulighet for at gabbroen i de glasifluviale materialene virkelig kommer nordfra.

Innholdet av Telemarks suprakrustaler (metavulkanitter) er generelt høgt i de glasifluviale materialene, unntatt mellom elvene Stråpaði og Nyastølåi,

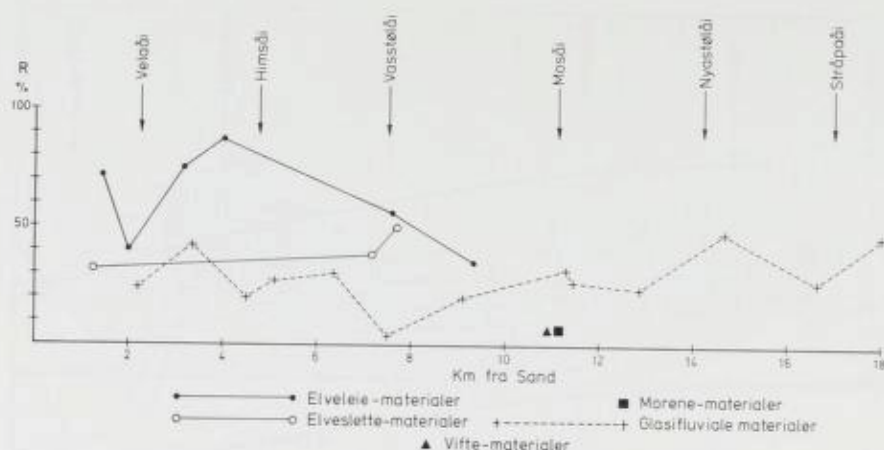


Fig. 24. Runding av forskjellige avsetningstyper i Suldalen.
Roundness of different types of deposits, Suldalen valley.

men varierer meget i elveleiematerialene. Telemarks suprakrustaler står i fast fjell ved Suldalsosen, ett felt ovenfor og ett nedenfor (Fig. 21). Det fins imidlertid også metavulkanitter i den Kambro-Ordoviciske bergartsformasjon.

Bortsett fra det naturlige minimum ved Moåi's tillop, holder innholdet av Telemarks suprakrustaler (heretter forkortet til T-S) seg forbausende konstant på 25% videre nedover dalen, i de glasifluviale materialene. Fra ca. 5 km fra fjorden øker innholdet av alle andre bergartstyper, i glasifluvium. Til tross for spredte analyser er det klart at i de to typer fluviale jordarter, anrikes KO+OV meget sterkt på samme strekning, særlig på bekostning av grunnfjellsmaterialet. Men ved Velåi's munning er grunnfjellsinnholdet høgt, i alle fall i elveleiematerialene. Årsaken til økningen av KO+OV er mest trolig at det skjer et tilskudd av dette fra Himsåi, som drenerer direkte fra et slikt bergartsområde (Fig. 21), og hvor det er en del morenemateriale i sideelvans nedslagsdistrikt.

Fordelingen av T-S i de glasifluviale materialene tyder enten på 1) at det skjer uttallige tillop fra T-S fra sidene, eller 2) at T-S er meget motstandsdyktig mot fluvial slitasje, eller 3) at det som her er kalt T-S også omfatter metavulkanitter fra de metamorfe suprakrustalbergartene i høgfjellet. T-S har vist seg som en sterk bergart (se senere), men den er vanskelig å skille fra metavulkanittene fra de metamorfe suprakrustalbergartene i etasjen over grunnfjellet. Disse siste ser heller ikke ut til å være av samme styrke som metavulkanittene i grunnfjellet. I tellingene kan det derfor være en mulighet for at disse to grupper av meta-vulkanitter er slått sammen i noen grad.

Runding av partikler

Rundingen (Fig. 13) av totalprøve på de glasifluviale materialer varierer lite nedover dalen (Fig. 24), men med et lokalt maksimum ved Nyastøi's tillop, og minimum ved Moåi's tillop.

Tross få analyser av fluviale jordartsprøver er det klart at rundingen av disse

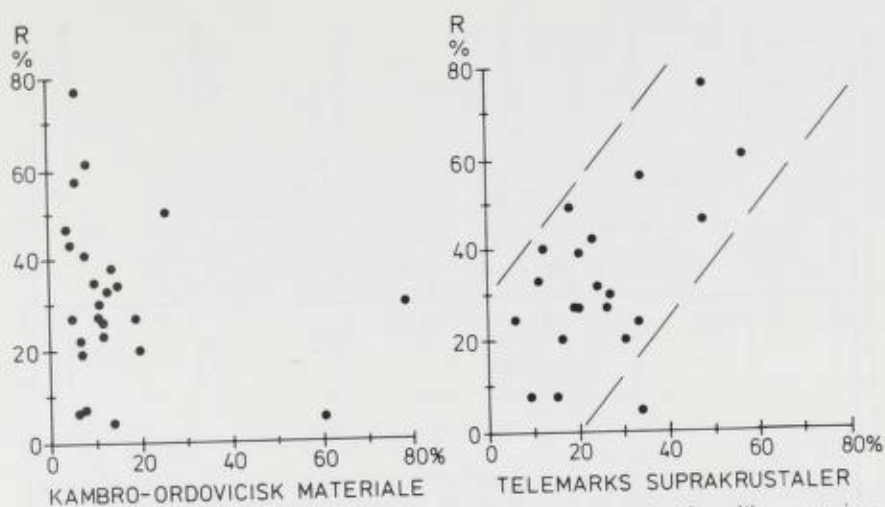


Fig. 25. Forholdet mellom runding og petrografisk sammensetning for ulike avsetnings typer, Suldalen.

The relation between roundness and petrographic composition, Suldalen valley.

er meget høyere, men også mye mer variert enn i glasifluvium, det samme som en finner i Surnadalen.

Fordelingen av runding og petrografi tyder på begrenset glasifluvial transport fra sideelvene, men betydelig fluvialt tilskudd.

Det er ingen tydelige tegn på at rundingen av totalprøve øker med økende innhold av Kambro-Ordovicisk materiale (Fig. 25), noe en kan finne i Surnadalen. Det er derimot mulig at økende T-S innhold i prøven øker rundingen av denne (Fig. 25). Da økende transportlengde betyr økende runding, kan Fig. 25 indikere at T-S er motstandsdyktig mot fluvial slitasje (knusing).

Sprøhet og flisighet

På Fig. 26 er vist profil langs Suldal av sprøhet og flisighet for de ulike materialtypene.

Variasjonene i sprøhet er meget stor i de glasifluviale og fluviale materialene. Kurvene varierer ikke i takt med hverken petrografi- eller rundingskurvene (Fig. 23 og 24). Det samme gjelder for flisigheten, som imidlertid viser liten variasjon. Det er derfor åpenbart at det er flere faktorer som virker sammen på sprøheten av materialet, ventelig rundingen og de forskjellige bergartstyper. Disse faktorer vil bli analysert nærmere hver for seg i det følgende. Imidlertid kan en spore en viss sammenheng mellom sprøhet og grunnfjellsmateriale, slik at økning av denne bergartsgruppe til dels faller sammen med økning i sprøhet. Dessuten er det en viss tendens til at maksimum eller minimum i sprøhet opptrer ved tillop av sideelvene. Dette siste kan imidlertid bero på tilfeldigheter, da 1) det ikke er noen slik tendens å spore i Surnadalen, og 2) det synes som den glasifluviale matingen fra sideelvene har vært meget beskjeden. Ut fra det siste punktet skulle man heller vente å finne større variasjon i sprøhet i de fluviale

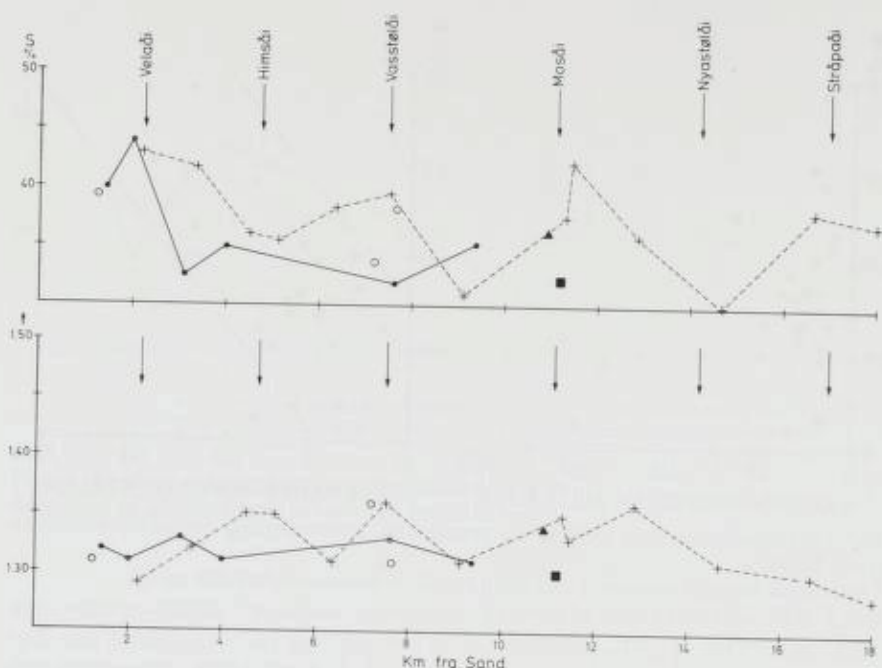


Fig. 26. Lengdeprofiler av sprøhet og flisighet, Suldalen. Tegnforklaring i fig. 24.
Brittleness (S) and flakiness (f) of different deposits, Suldalen valley. Legend in Fig. 24.

materialene, hvilket ikke synes å være tilfelle. Her er det forøvrig på sin plass å poengtere at prøvetakingen hele tiden har skjedd i et vilkårlig nivå i glasi-fluvium, mens det i elveleiematerialene alltid tas prøver bare fra overflaten. Bildet kan vise seg å være enda mer komplisert om man får resultater fra analyser foretatt forskjellige steder vertikalt i en og samme glasi-fluviale avsetning.

Sprøhet/flisighet og rounding

Både i Surnadalen (Fig. 15) og i Sunndalen (Fig. 20) er det funnet at økende rounding på et materiale gir det lavere sprøhet. Noen tilsvarende sammenheng kan ikke spores for Suldalsmaterialiet (Fig. 27). Dette kan skyldes at det i Suldalen er større spredning av bergarter med stor innbyrdes styrkeforskjell (Fig. 27).

Man kan derfor ikke uten videre si at en i Suldal finner det mekanisk sterkeste materialet i elveleiet. Man må enda også se på den petrografiske sammensetningen. Dette er, som tidligere beskrevet, også tilfelle i de øvrige undersøkte områder.

Der er heller ingen påviselig sammenheng mellom rounding og flisighet av materialene (Fig. 27), men variasjonen i flisighet er også meget liten.

Forholdet mellom petrografi og sprøhet/flisighet

Gabbro er en antatt sterk bergart. Selv om en i Suldal enda ikke har analysert prøver med gabbroinnhold mellom 10% og 30% (Fig. 28), kan man kanskje

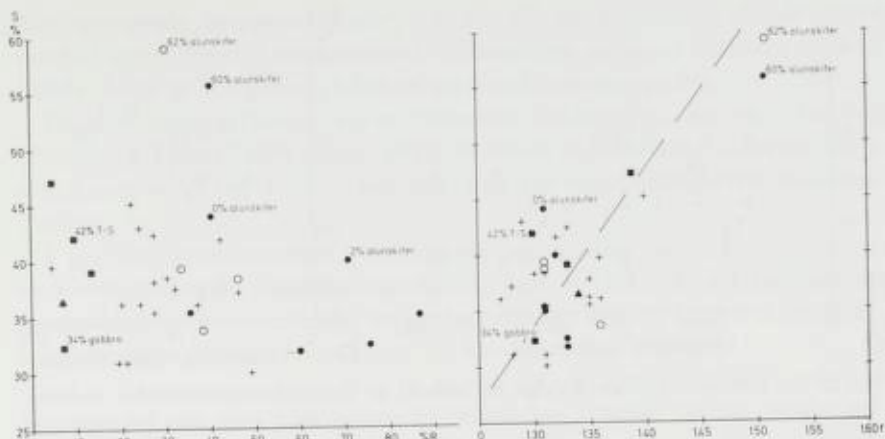


Fig. 27. Forholdet mellom sprøhet/flisighet og rounding, alle avsetningstyper, Suldalen.
The relation between brittleness/flakiness and roundness, all types of deposits, Suldalen.

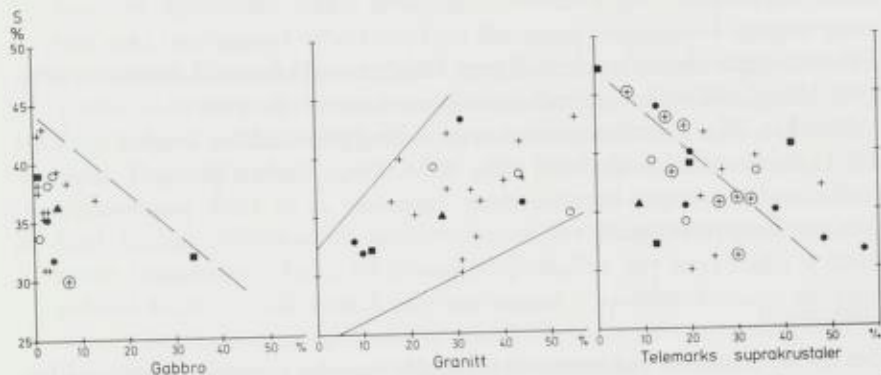


Fig. 28. Forholdet mellom sprøhet og petrografi for de forskjellige avsetningstypene i Suldalen.
The relation between brittleness numbers and petrography in the different deposits, Suldalen.
 Legend in Fig. 24.

antydde at økende mengde gabbro har en tendens til å redusere sprøheten, alle typer materialer sett under ett. Rundingen er meget varierende, og klart lavest på moreneprøven med 34% gabbro-innhold.

Økende granitt-innhold ser ut til å øke sprøheten, alle materialtyper sett under ett (Fig. 28). En slik sammenheng kunne man allerede antydde ved sammenligning mellom Fig. 23 og Fig. 26.

Innholdet av Telemarks suprakrustaler (T-S) har en viss innflytelse på sprøheten, selv om en ser bort fra rundingen (som varierer mellom 7% og 87%; Fig. 28). Tar man ut de prøver som har samme runding (f. eks. 20–27%) ser relasjonen mellom T-S og sprøhet ut til å være bedre: økende T-S innhold reduserer sprøheten. Noe av spredningen kan skyldes at det er tale om forskjellige typer metavulkanitter, som tidligere nevnt. Samtidig med en tendens til redu-

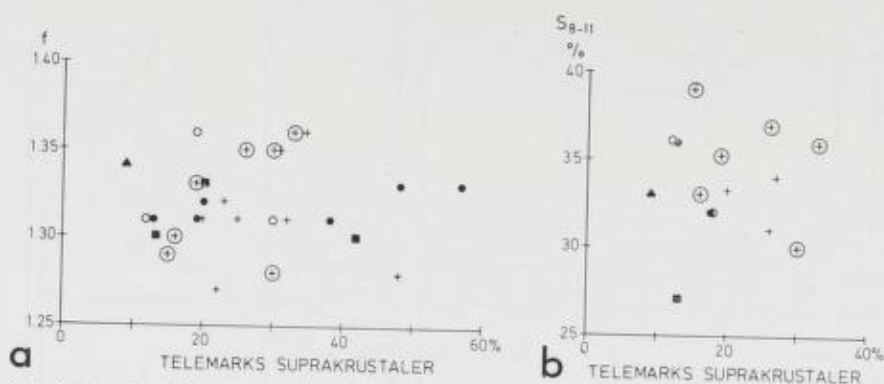


Fig. 29 (a). Forholdet mellom flisighet og innhold av Telemarks suprakrustaler, Suldalen. *The relation between flakiness and content of metavolcanics from the Telemark-suite, Suldalen.*

29 (b) Forholdet mellom S på 8,0–11,2 mm naturgrus og innhold av Telemarks suprakrustaler, Suldalen. *The relation between brittleness, on 8,0–11,2 mm natural gravel, and content of metavolcanics, Suldalen.*

sert sprøhet, er det en tendens til øket flisighet med økende T-S innhold (Fig. 29a), i de glasifluviale materialene med ens runding (20–27%).

Man kan ikke spore noen tilsvarende avhengighet mellom sprøhet og T-S i 8,0–11,2 mm naturgrusfraksjon (Fig. 29b). Dette skyldes muligens at petrografien endrer seg med kornstørrelsen. Innholdet av en sterk bergart vil bl. a. avta mot finere fraksjoner.

Diskusjon

Det ser ut til at man ved materiale utsatt for naturlig rundingsslitasje også har det forhold at «... en faktor som partikkelform, vilken till en stor del beror på krossningsteknikken, kan överskugga innverkan av petrografiska faktorer» (Hobeda och Bünzow 1977). Det er i denne sammenheng interessant at sprøhets- og flisighetsanalyser på utborete (32 mm) steinkjerner gir gunstigere sprøhets-resultater enn på utskutte bergartsprover fra samme lokalitet (Sverdrup & Sørensen 1966, Sørensen & Sverdrup 1974). Man kunne tenke seg at denne forskjellen kunne bero på sjokkeffekt på det skuddpåvirkete materialet. Imidlertid har Jøsang (1967) funnet samme tendens ved en sammenligning mellom sprøhet på biter med glatte boreflater og på borebiter fra det indre av kjernen, uten krumme flater.

Også tidligere undersøkelser tyder på at øket runding av aggregater øker styrken på aggregatet (Woolf 1937, 1948, Macnaughton 1937, Vallerga et al. 1956, Ekse & Morris 1959). Selv om en ikke kan se bort fra at transport-slitassen fort fjerner svake partikler, ser det ut til at det er den runde overflaten av kornene som i stor grad gir styrken, ikke bare mot slagbrudd, men også mot videre abrasjons-slitasje (Augenbach 1963). P.g.a. rundingens betydning er det heller ikke uvesentlig hvilken fraksjon som velges til overgrusfraksjon.

Med avtagende overgrus-størrelse vil det bli en prosentvis økende andel rundete korn(-deler) i testmaterialet. «Finkornig» overgrus i testen må i så tilfelle derfor gi for gunstig bilde av grusforekomstens sprøhet.

En øket transportlengde av et materiale betyr oftest en øket runding (Pittman & Tomas 1968, Goede 1975, Kaitanen & Strøm 1978). Derfor skulle man kunne tenke seg at det materiale som var lengst transportert ville være sterkere.

P.g.a. den store variasjon i runding og petrografisk sammensetning innen hver avsetningstype (oppblandingseffekt), kan en ikke ut fra foreliggende materiale si at det er spesielle avsetnings-enheter som er lengre transportert (sterkere) enn andre.

Konklusjon

- 1) Ved sammenstilling av et meget stort antall sprøhetsdata (Hobeda 1977) er det funnet relasjoner mellom det berggrunnsgeologiske bildet, og sprøheten av grusmasser. Disse relasjonene må imidlertid være meget grove, idet det i foreliggende arbeid er påvist like store variasjoner i sprøhet innen ett av Hobeda's «kvalitetsområder», som det er mellom områder med ulik kvalitet. Det synes derfor nødvendig med detaljerte undersøkelser for å få nærmere rede på årsaker til slike store variasjoner innen et begrenset område. Hvis ikke dette gjøres, kan man fort gjøre feilvurderinger av kvalitetene.
- 2) Ved nitidige undersøkelser av isbevegelser, dreneringsretninger, løsmasseyper, berggrunnsforhold, lokalerosjon og ras, har det vært mulig å finne enkelte årsaker til de store lokale variasjoner i sprøhet. Dermed er det i en viss utstrekning mulig, ved å ta i bruk de lover som er funnet, ved en forutsigelse å komme nærmere den aktuelle sprøhet av massene.
- 3) Man vil finne igjen de bergartstyper i avsetningene som er representert i fast fjell i området (Matistio 1961). Men mengdeforholdet mellom dem vil variere svært meget (Kaitanen & Strøm 1978), avhengig av isbevegelse, jordartstype (= dreneringslengde?) og av lokale dreneringsforhold.
- 4) Rundingen av partiklene er meget vesentlig for sprøheten, idet øket runding gir lavere sprøhetstall. Rundingens innvirkning kan muligens være minst like stor som petrografiens innvirkning. Kambro-Silurmateriale (ofte kvartsrike glimmerskifre) rundes fort. Høgt innhold av KS-materiale gir derfor ofte lavere sprøhetstall for materialet, i enkelte områder.
- 5) Normalt er glasifluviale materialer dårligere rundet enn fluviale materialer. Dette skyldes sikkert at det siste har vært transportert lengst. Elveleiematerialer er derfor ofte de sterkeste materialer i et dalføre dersom de petrografiske forhold er noenlunde ens. Det fins imidlertid mange unntak. Ett viktig unntak får man der sideelver bringer utrast morene ned til hovedelven. Materialet her vil være mer kantet enn umiddelbart oppstrøms, og derfor svakere om det ikke består av spesielt sterke bergarter, som f. eks. gabbro. Det vil ta en viss tid (= en viss distanse nedstrøms tillopet) for

materialet igjen er blitt like rundet som umiddelbart oppstrøms tilløpet. Et annet unntak får man der én sideelv bringer én type petrografi til hoveddalen, mens den glasi-fluviale transport brakte en helt annen petrografi til det samme sted i hoveddalen.

- 6) Både rundingen og den petrografiske sammensetningen i de undersøkte områdene er stort sett mer varierende i elvematerialene enn i de glasi-fluviale materialene. Tross dette ser sprøheten ut til å være mer varierende i glasi-fluvium enn i elveleie-materialer. Det er grunn til å anta at dette ikke primært skyldes at vedvarende, sterk fluvial behandling fjerner svake og oppsprukkede partikler, da slike i stor grad må være fjernet allerede ved glasi- og glasi-fluvial behandling. Forholdet må derfor også ha noe med selve kornformen (rundingen) å gjøre.

Imidlertid må det her pekes på at avrundete partikler har en tendens til å pakkes annerledes i morteren enn kantede partikler. Dette kan gi forskjeller i sprøhet som ikke er reell.

- 7) De aller fleste naturlige forekomster har en sammensatt petrografi, og variert runding. Det er derfor vanskelig å skille fra hverandre petrografiens og rundings innflytelse på styrken.

For å forsøke å skille rundings og petrografiens innflytelse på sprøheten, er det nå ved Geologisk institutt avd. B, Universitetet i Bergen, igangsatt knusing av fjell av ens petrografi. Dette blir rundet i laboratoriet. På denne måten håper en å få kontrollert følgende:

- 1) hvor fort rundes de enkelte bergartstyper innbyrdes?
- 2) hvor fort minker de enkelte partikler i størrelse?
- 3) hva skjer med sprøhet og flisighet til de enkelte bergartstyper under en simulert elvetransport?

Av de tromlede materialene blir det videre foretatt prøvestoping for å søke å klarlegge de samme parametrenes innvirkning på betongstyrken, og eventuelt få en høyere relasjon mellom sprøhetstall, eller en annen styrke-parameter, og betongstyrke.

Summary

Gravel deposits in five Norwegian valleys (Fig. 1) have been investigated with regard to petrographic composition, roundness, brittleness and flakiness. The aim of the study has been to examine the possibility of deducing the quality of the gravel deposits, in a given region, from these parameters and from the draining directions of glaciers, meltwater streams and normal streams. Previous investigations (Høbeda, e.g. 1977) have concluded that the flakiness and brittleness of gravel deposits are related primarily to the bedrock geology.

Normally, the coarse material in a gravel deposit is also utilized. In testing for brittleness and flakiness the procedure has been to use a mixture of 50% natural gravel and 50% crushed stones (19/25–37 mm) in the 11.2–16 mm fraction. The analyses of roundness have been carried out visually (Bergersen 1964).

In the Surnadalen valley (Figs. 6 & 7) glacialfluvial deposits are found in terraces up to 140–147 m a.s.l. (marine limit), fluvial deposits in lower terraces and in the flood plain, and glacial till on the valley sides in the eastern part of the valley. The bedrock consists of low-metamorphic volcanics and sediments in a syncline trending along the valley. These rocks tectonically overlie a gneiss complex. Along both sides of the valley there is a narrow zone of sparagmitic quartzitic gneiss (Fig. 8).

Glacial movement was initially from south (from Trollheimen) to north; in later stages it was directed towards the NW and W. During Younger Dryas time local glaciers from Trollheimen seem to have terminated at the outlets of the tributary valleys of Folla and Vindøla. The glacialfluvial and fluvial transport was from the tributaries and along the main valley. The petrographic composition is therefore very complex (Fig. 9), as is the roundness of the particles (Fig. 10). With a few exceptions the glacialfluvial material is less rounded than the fluvial. However, it is difficult to explain the high degree of rounding of all petrographic types in all types of material at the outlet of the river Folla.

The brittleness and flakiness also vary greatly along the valley (Fig. 11). The numbers are more consistent in the fluvial than in the glacialfluvial material, even though the petrographic variation of the latter is as least as great as that of the former. The influence of the roundness (of the natural aggregates) on the brittleness seems to be as least as great as that of the petrography (Fig. 15). However, as the roundness of the different types of material varies greatly in the investigated areas (Fig. 13), it is difficult to deduce precisely where the strongest materials can be found.

In the Sunndalen valley (Figs. 7 & 16) as well as in Suldalen (Figs. 7 & 22) there is also a great variation in petrographic composition, brittleness, flakiness and roundness (Figs. 17, 18, 23, 24 & 26), which could hardly be foreseen from analysing the bedrock geology and the transport directions of the materials (Figs. 8 & 21). However, by analysing local features (e.g. avalanches on till-slopes in Ottadalen), it may be possible to tell something more about these parameters. A consistent relationship between roundness and brittleness (Fig. 20) is also a feature of the Sunndalen deposits.

The roundness of the Suldalen materials may be influenced by the petrography (Fig. 25). There does not however seem to be any relationship between brittleness and roundness here (Fig. 27), which may be due to a larger variation in petrographic composition in the Suldalen-materials than in that of the other areas. The two samples with highest brittleness numbers (Fig. 27) contain 50–60% alum shales, and the samples with the lowest brittleness number and low rounding contain up to 34% gabbro.

The influence of roundness on brittleness can hardly be explained only by means of enrichment of the strongest particles by continued fluvial treatment, as the glacial and glacialfluvial treatment is presumably stronger than the fluvial. The relationship between brittleness and roundness, also noted by a number of other authors (Woolf 1937, 1948, Macnaughton 1937, Vallerga 1956, Ekse & Morris 1959, Grønhaug 1964, 1967, Sverdrup & Sørensen 1966, Josang

1967, Sørensen & Sverdrup 1974), has therefore most likely something to do with the roundness itself. Because of this relationship the brittleness may be influenced by the small size of the stones (19/25–37 mm) used in the test mixture, as these give a greater percentage of rounded particle-pieces in the mixture than do larger stones. This particular relationship is a subject of current research at the Institute of Geology, University of Bergen.

Etterord. – Forfatterne vil takke Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd for finansiering av undersøkelsene og av trykking av artikkelen, statsgeolog Peer R. Neeb, statsgeolog Arne J. Reite og vit. ass. Roar Nålsund ved NGU for kritisk gjennomlesning, tegnerstaben ved Geol. inst., Univ. i Bergen, for tegning av illustrasjonene, fru Solveig Helland, Geol. inst., Univ. i Bergen, for maskinskriving, og statsgeolog David Roberts, NGU, for retting av den engelske teksten.

REFERENSER

- Anundsen, K. 1972: Glacial Chronology in Parts of Southwestern Norway. *Norges geol. Unders.* 280, 1–24.
- Anundsen, K. 1977: Fagrapport til NTNF: Fjellgrunn og gruskvaliteter. I. Foreløpige resultater. *Geol. Inst., Ingeniørgeol. NTH, Trondheim.* 64 sider.
- Anundsen, K. 1979: Fagrapport til NTNF: Fjellgrunn og gruskvaliteter. II. Avsluttende rapport om undersøkelser utført ved NTH. *Geol. Inst., Avd. B, Univ. i Bergen.* 51 sider.
- Anundsen, K. 1981: Shifting ice-movements in Late Pleistocene in South-west Norway. Unpubl.
- Augenbach, N. B. 1963: Degradation of Base Course Aggregates During Compaction. *Purdue University Thesis* (unpubl.).
- Bergersen, O. F. 1964: Løsmateriale og isavsmeltning i nedre Gudbrandsdalen og Gausdal. *Norges geol. Unders.* 228, 12–83.
- Ekse, M. & Morris, H. C. 1959: A Test for Production of Plastic Fines in the Process of Degradation of Mineral Aggregates. *ASTM, STP nr. 277.* 122–126.
- Eggen, et al. 1979: Oppdalsfeltets geologiske historie. Abstract av foredrag. NGT's landsmøte. Trondheim 1979. *Geolognytt nr. 2.*
- Goede, A. 1975: Downstream changes in shape in the pebble morphometry of the Tambo river, eastern Victoria. *Journ. of Sed. Petr.* 45, 704–718.
- Grønhaug, A. 1964: Steinmaterialers brukbarhet til vegbygging. Proving og bedømmelse. *Statens Vegvesen, Veglaboratoriet. Medd. nr. 19.* 1–15.
- Grønhaug, A. 1967: Evaluation and Influence of Aggregate Particle Shape and Form. *Statens Vegvesen, Veglaboratoriet. Medd. nr. 31.* 1–20.
- Holtedahl, O. & Dons, J. A. 1960: Geologisk kart over Norge. *Norges geol. Unders.* 208.
- Hugdahl, H. 1976: *Jordartsforholdene i Meråker-området.* Hovedoppgave i Ingeniørgeologi. Geol. Inst., NTH, Trondheim (unpubl.).
- Höboda, P. 1966: Erfarenheter av hållfasthets- och kornformsbestämningar för stenmaterial till vägändamål. *Statens Väginstytut, Stockholm. Specialrapport 41.* 91 sider.
- Höboda, P. 1977: Sprödbetstal för naturgrusmaterial. Provingar hovudsakligen utförda vid VTI. *Statens väg- och trafikinstytut (VTI).*
- Höboda, P. & Bünzow, L. 1977: Nedbrytningsbenägenhet hos bärlagergrus – resultat från laborieförsök. *Statens väg- och trafikinstytut (VTI). Rapport nr. 140.* 109 sider.
- Josang, O. 1967: Forsök med fallprover på nedknust overstein fra naturgneis og fra nedknuste borkjerner av fast fjell. *Norsk Vegtidsskrift* 7, 97–101.
- Kaitanen, V. & Strom, O. 1978: Shape development of sandstone cobbles associated with the Säkylä-Mellilä esker, southwest Finland. *Fennia* 155, 23–67.
- Macnaughton, M. F. 1937: Physical Changes in Aggregates in Bituminous Mixtures under Compaction. *Ass. Asp. Pav. Tech. Proc. V* 8.
- Matistio, A. 1961: On the relation between the stones of the eskers and the local bedrock in the area northwest of Tampere, southwestern Finland. *Bull. de la comm. geol. de Finl.* 193, 1–53.
- Moavenzadeh, F. & Goetz, W. H. 1963: Aggregate degradation in bituminous mixtures. *Highway Research Record* 24.

- Moseid, T. 1976: *Løsmassenes fordeling, dannelse og kvalitet i relasjon til de geologiske forhold i Surnadal, Møre og Romsdal*. Hovedoppgave i Ingeniørgeologi. Geol. Inst., NTH, Trondheim. (Upubl.).
- Nordhagen, R. 1929: Bredemte sjøer i Sunndalsfjellene. *Norsk Geogr. Tidsskr.* 2.
- Nordhagen, R. 1930: Nye iakttagelser over de bredemte sjøer i Sunndalsfjellene. *Norsk Geogr. Tidsskr.* 3.
- Norges Standardiseringsforbund, 1962: NS 427 A. Betongarbeider. Del 2. Prøvningsregler.
- Pittman, E. D. & Tomas, A. O. 1968: Pebble morphology in the Merced River (California). *Sedimentary Geology* 2, 125-140.
- Rake, A. 1976: *Sand- og grusressurser i Hjelmeland kommune, Rogaland*. Hovedoppgave i Ingeniørgeologi. Geol. Inst., NTH, Trondheim. (Upubl.).
- Roberts, D. 1978: Caledonides of south central Norway. Caledonian-Appalachian orogen of the north Atlantic region. *Geological Survey of Canada paper*, 78-13, 31-37. Ottawa.
- Råheim, A. 1972: Petrology of high grade metamorphic rocks of the Kristiansund area. *Norges geol. Unders.* 279, 75 pp.
- Råheim, A. 1977: A Rb-Sr study of the rocks of the Surnadal syncline. *Norsk geol. Tidsskr.* 57, 193-204.
- Råheim, A. 1979: Structural and metamorphic break between the Trondheim basin and the Surnadal Synform. *Norsk geol. Tidsskr.* 59, 195-198.
- Sigmond, E. M. 1975: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart SAUDA, 1:250 000. *Norges geol. Unders.*
- Sollid, J. L. 1964: Isavsmeltningsforløpet langs hovedvasskillet mellom Hjerking og Kvikneskogen. *Norsk Geogr. Tidsskr.* 19, 51-76.
- Statens Vegvesen 1966: Analyseforskrifter. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet, Oslo.
- Stokke, J. 1976: *Løsmassenes dannelse, oppbygning og kvalitet i Skjomedalen, Nordland*. Hovedoppgave i Ingeniørgeologi. Geol. Inst., NTH, Trondheim. (Upubl.).
- Sverdrup, T. L. & Sørensen, E. 1966: Orienterende undersøkelser vedrørende sprøhet og flisighet av bergarter. *Norges geol. Unders.* 247, 39-43.
- Sørensen, E. & Sverdrup, T. L. 1977: Sammenligning av sprøhet og flisighet for borkjerne-materiale og utskutte bergartsprover. *Norges geol. Unders.* 304, 61-77.
- Trønnes, R. 1978: *Den petrografiske og mineralogiske sammensetningen av løsmassene i Sunndalsområdet*. Hovedoppgave i Malmgeologi. Geol. Inst., NTH, Trondheim. (Upubl.).
- Vallerga, B. A. et al. 1956: Effect of Shape, Size and Surface Roughness of Aggregate Particles on the Strength of Granular Materials. *ASTM, STP* 212, 63-74.
- Woolf, D. O. 1937: The relation between Los Angeles abrasion test results and the service records of coarse aggregates. *Proc. Highway Res. Rec.* 17.
- Woolf, D. O. 1948: Needed Research, Symposium on Mineral Aggregates. *ASTM, STP* 83, 221-233.