

Terje Motrøen, Helene Eide og Knut Nordahl

Sorterte steinsirkler på
Kvadehuksletta, Svalbard

Høgskolen i Hedmark

Rapport nr. 9 – 2005

Fulltekstutgave

Utgivelsessted: Elverum

Det må ikke kopieres fra rapporten i strid med åndsverkloven og fotografiloven eller i strid med avtaler om kopiering inngått med KOPINOR, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Forfatteren er selv ansvarlig for sine konklusjoner. Innholdet gir derfor ikke nødvendigvis uttrykk for Høgskolens syn.

I rapportserien fra Høgskolen i Hedmark publiseres FoU-arbeid og utredninger. Dette omfatter kvalifiseringsarbeid, stoff av lokal og nasjonal interesse, oppdragsvirksomhet, foreløpig publisering før publisering i et vitenskapelig tidsskrift etc.

Rapporten kan bestilles ved henvendelse til Høgskolen i Hedmark.
(<http://www.hihm.no/>)

Rapport nr. 9 - 2005

© Forfatterne/Høgskolen i Hedmark

ISBN: 82-7671-490-0

ISSN: 1501-8563



Høgskolen i Hedmark

Tittel: Sorterte steinsirkler på Kvadehuksletta, Svalbard			
Forfattere: Terje Motrøen, Helene Eide og Knut Nordahl			
Nummer: 9	Utgivelsesår: 2005	Sider: 48	ISBN: 82-7671-490-0 ISSN: 1501-8563
Oppdragsgiver:			
Emneord: Kwartærgeologi, geomorfologi, landskap, periglacial, permafrost, steinsirkler, diapirteori, Kvadehuksletta, Svalbard.			
Sammendrag: På Kvadehuksletta ved Ny-Ålesund på Vest-Spitsbergen, finner man en av de best utviklede frostjordsformer som sorterte steinsirkler. Steinsirkler opptrer i senkninger i terrenget der det er god tilgang på fuktighet og finmateriale. Sedimentprøvene viser en andel av silt/leire under $63\mu\text{m}$ på 50-18 % i sirklenes finområde, mens andelen silt/leire under $63\mu\text{m}$ i finområdets ytterkant synker til 20-5 %. I sirkelens bord med grovt materiale er andelen finmateriale under $63\mu\text{m}$ på ca. 3-0,5 %. En klar vertikal grense mellom fint og grovt materiale i diapir av finmateriale indikerer en god sortering allerede i steinsirklenes første utviklingsfase. Dersom et lag av finmateriale under et lag av grovmateriale utsettes for en ujevn fryseflate, vil frostsortering og ulik frostheving føre til inn-trenging av finmateriale opp mot overflaten, og derved en utvikling av sorterte steinsirkler. Grovmaterialet i bordens ytterside var på noen sirkler kledd med lav, og indikerer mangel på omrøring. En eventuell konveksjonsbevegelse i det aktive laget som årsak til utvikling av steinsirkler ser derfor ikke ut til å omfatte borden og diapirteorien blir forsterket.			



Høgskolen i Hedmark

Title: Sorted circles at Kvadehuksletta, Svalbard			
Authors: Terje Motrøen, Helene Eide and Knut Nordahl			
Number: 9	Year: 2005	Pages: 48	ISBN: 82-7671-490-0 ISSN: 1501-8563
Financed by:			
Keyword:			
<p>Summary: At Kvadehuksletta on west of Spitsbergen, you'll find one of the best examples of congeliturbates of sorted circles. Sorted circles are found in hollows rich in humidity and fine materials. A distinct vertical limit between fine and coarser materials in the diapir of fine materials indicates a good sorting in the first phase of evolution. If there is a layer of fine material below a layer of coarser materials, and this is exposed to an uneven frost surface, the fine material will penetrate up towards the surface because of the frost sorting and different frost heaving. This will eventually form sorted circles. The coarser material on the perimeter of some of the circles was covered in lichen, an indication of lack of ground movement. A possible convection in the active layer as a cause of evolving sorted circles does not affect the outer layer, which supports our diapir-theory.</p>			

Forord

Rapporten er knyttet til fagområdene naturgeografi og geologi og vil kunne brukes som pensumlitteratur eller støttelitteratur i geoemner ved Høgskolen i Hedmark eller ved andre utdanningsinstitusjoner. Den bør også ha allmenn interesse for de som ønsker å skaffe seg mer kunnskap om hvordan små landskapsformer er blitt til.

Rapporten er et resultat av en feltstudie i arktisk geomorfologi på Svalbard sommeren 1998. Våre studier av sorterte steinsirkler ble utført på Kvadehuksletta ved Ny-Ålesund. Professor Johan Ludvig Sollid hadde hovedansvaret for feltstudiet som ble arrangert av Geografisk institutt ved Universitetet i Oslo. I tillegg bidro førsteamanuensis Leif Sørbel og professor Bernt Etzenmüller med gode råd og faglige veiledning under arbeidet. Vi har også fått god hjelp fra førsteamanuensis Kjetil Melvold under sluttarbeidet med rapporten. En stor takk til dem alle.

Hamar, november 2005

Terje Motrøen

Helene Eide

Knut Nordahl

Innhold

Forord	7
Innhold	9
1. Innledning	11
2. Feltbeskrivelse	14
Beliggenhet	14
Geologi	14
Geomorfologi	16
Klima	17
Permafrost	17
3. Teorier på dannelse og utvikling av steinsirklér	18
4. Arbeidsmetode	22
5. Presentasjon av felldata	24
6. Diskusjon	32
Regionalt fordelingsmønster	32
Morfologi	33
Dannelse	36
Materiale og fuktighet	37
7. Konklusjon	41
Litteratur	43
Appendiks	45

1. Innledning

Kvadehuken innehar velutviklede frostjordsformer og steinsirkler er den mest vanlige og dominerende formen. Dannelsesprosessene av steinsirkler på Kvadehuken er tema for dette arbeid. Washburns definisjon av sorterte sirkler (1956 og 1979): *Sorted circles are patterned ground whose mesh is dominantly circular and has a sorted appearance commonly due to border of stones surrounding finer material.* Morfologisk består steinsirklene av et sentralt område med fint materiale omgitt av en asymmetrisk kant av grovere materiale (høyde opptil 50 cm, vanlig 20-30 cm). Grensen mellom disse er skarp. Asymmetrien oppstår ved en brattere kant ut mot intersirkelarealet og en svakere helning mot sentrum. Det fine materialet er tixotropisk og med lav styrke pga. høy fuktighet. Det sentrale området ligger hovedsakelig lavere enn steinsirkelen rundt, og overflaten er dominerende konveks (Sollid & Sørbel 1988), men vanlig er også en plan overflate.

Det er fremsatt flere teorier om dannelsen av steinsirkler. To prosesser er viktige ved dannelsen av steinsirkler: i) vertikal frostsortering og ii) masseforflytning (Etzenmüller 1989). Vertikal frostsortering fører til at det grove materialet fryser opp til overflaten med akkumulasjon av et grovt overflatelag og et lag av fint materiale under. Masseforflytning fører til en vertikal og/eller horisontal bevegelse av det fine materialet relativt til det grove materialet.

To teorier som diskuterer dannelsen av steinsirkler er konveksjonsteorien (Hallet and Prestrud 1986) og diapirteorien

(Sollid & Sørbel 1988; Washburn 1997). Konveksjonsteorien sier at dannelsen av sorterte sirkler skjer ved bevegelse av materiale i en konveksjonscelle, mens diapirteorien sier at dannelsen skjer kun ved en vertikal oppadgående bevegelse av materiale. Det generelle hendelsesforløpet som fører til dannelsen av sorterte sirkler er det enighet om i disse teoriene: at sirklene dannes ved frostprosesser, og at det skjer enn masseforflytning. I begge teoriene er det massebevegelse på grunn av frostprosesser som danner sirklene. Det er årsaken til forflytning av masse som skiller disse to teoriene.

Flere forskere har studert sorterte sirkler på Kvadehuken, og det er gjort en rekke observasjoner. Etzenmüller (1989) og Sollid og Sørbel (1988) fant forhold i forbindelse med sorterte sirkler på Kvadehuken som vi mener er interessante og som danner utgangspunkt for vår problemstilling. Det er materiale av dolomittisk opprinnelse som vil gi et forvitningsmateriale med et siltinnhold som fremmer frostprosesser. Løsmassefordelingen på Kvadehuksletta har en varierende tykkelse av grovt overflatelag (på enkelte steder tynt dekke) med et fint, frostsensibelt materiellag under, noe som medfører dannelse av en tetthets- og fuktighetsgradient i bakken. Et ujevnt og stedvis tynt overflatedekke av grovt materiale med fint materiale under, begünstiger dannelse av sirkler.

Sorterte sirkler forekommer hovedsakelig i senkninger mellom strandvollene som kan knyttes til faktorene fuktighet og løsmaterialtekstur. Den vertikale strukturen (ved et vertikalt snitt) til steinsirkler på Kvadehuksletta består av en kjegle eller konlignede form. Steinene i sirkelen har en vertikal orientering, mot en horisontal orientering i det intersirkulære området, og kan indikere en bevegelse av materiale tilnærmet vinkelrett på overflaten. Dette kan indikere både en nedadgående og en

oppadgående bevegelse (Etzenmüller 1989). Disse forhold mener vi støtter opp om diapirotheorien ved dannelse av sorterte sirkler på Kvadehuken.

Ut i fra dette ble følgende problemstillinger laget: Er steinsirklene på Kvadehuksletta dannet av en diapirostruktur i vertikal oppadgående bevegelse med fortrenkning av et opprinnelig grovt overflatemateriale?

2. Feltbeskrivelse

Beliggenhet

Det undersøkte området ligger på Kvadehuksletta på nordvestspissen av Brøggerhalvøya på Vest-Spitsbergen, 79°N 12°E. Brøggerhalvøya danner den sørlige kystsonen av Kongsfjorden ved Ny-Ålesund. Kvadehuksletta er en del av strandflata som kan følges rundt hele Brøggerhalvøya.



Figur 1. Svalbard. Kartet viser Kvadehuken ved Ny Ålesund

Geologi

Brøggerhalvøyas geologiske utvikling og struktur er detaljert beskrevet av Orvin, A. (1934) og Challinor, A. (1967). De midtre og østligste deler av Brøggerhalvøya er bygget opp av prekambriske bergarter som sammenfattes under navnet Hekla Hoek. Disse bergartene er metamorfiserte sedimenter som glimmerskifer, fylitter, kvartsitt og marmor. Hekla Hoek bergartene blir tilordnet den såkalte Kongsvegengruppen. Diskordant over Hekla Hoek ligger bergartene dannet i Karbon og Perm. Disse bygger opp de vestlige områder på Brøggerhalvøya og dermed også Kvadehuksletta.

Bergartene på Kvadehuksletta består overveiende av karbonatiske sedimenter med stor andel av dolomitt tilhørende Gipsdalengruppen og Nordenskjoldsbreformasjonen. I området rundt Huklagunane mellom Kongsfjordneset og Kvadekuken og langs deler av nordkysten ligger røde sandsteiner og konglomerater tilhørende Brøggertindenformasjonen (nedre Gipsdalengruppen). Knausheia, plataet mellom Scheteligfjellet og Kiærfjellet, består av dolomitt og dolomittiske bresjer tilhørende Gipshukenformasjonen (øvre Gipsdalgruppen) (Orvin 1934).

Det undersøkte området er dekket av marine sedimenter med varierende tykkelse. Disse består av grovt rundet grus og ble avsatt i strandsonen under perioder med landheving etter en glasialsyklus. Et viktig trekk på Kvadehuksletta er en sekvens med hevede strandvoller som gjenspeiler gamle havnivåer og midlertidige opphold i landhevingen slik at stormvoller kunne bygges opp. Ved siden av mindre tydelige (< 1 m) eller eroderte strandterrasser finnes det tre markerte ryggsystemer som kan følges rundt hele Kvadehuksletta.

Geomorfologi

Kvadehuksslettas geomorfologi og kvartærgeologi er detaljert kartlagt av Tolgensbakk og Sollid (1987) og beskrevet av Etzenmüller (1989). Overflatemateriale på Kvadehuken består hovedsakelig av marine strandsedimenter som er avsatt under kvartærtida. Tykkelsen på sedimentene varierer sterkt, særlig i området under ca. 35 moh. er det hyppige forekomster av rent forvittringsmateriale. Fluvialt materiale deles inn i resent og fossilt, og indikerer det nåværende versus eldre elveavsetninger. Fossile fluviale vifter, særlig ved overgangen fra de østlige høyereliggende områder (Steinflåen, Knausheiene) til strandflateområdet og rundt Kvadehuken, viser et annet avløpsregime med antakelig høyere vannføring enn det er i dag. Det samme indikerer utbredelsesmønstrer av preresent fluvialt materiale, som inntar større områder i tilknytning til eldre avrenningsforløp. Ovenfor høyeste marine grense, ca. 80 moh., dominerer forvittrings- og rasmateriale med lokale forekomster av morenemateriale. Avgrensningen mellom de forskjellige overflatematerialene er svært vanskelig på grunn av den intensive frostforvitringen og den dermed resulterende innblandingen av forvittringsmateriale i overflatesedimentene (Etzenmüller 1989).

Formbildet på Kvadehukssletta er preget av marine strandformer. Langs vest og på sørvestkysten er det bygget opp resente strandvoller, mens langs nordkysten dominerer en opp til 10 m høy klippekyst. Mellom Kongsfjordneset og Kvadehuken begrenser de resente strandvollene en rekke lagunesjøer, Hauklagunane. Resente strandvoller er vanlige på Vest-Spitsbergen og må sees i sammenheng med en resent transgresjon av havet på vestkysten. Det samme formbildet, strandvoller som avgrensner lagunesjøene, finnes igjen på

de fossile vollsystemene som demmer opp en rekke grunne sjøer. De fossile strandvollene er av avgjørende betydning for hydrografien og vannfordelingen på sletta. I høyde over 45 moh. finnes ingen sammenhengende vollsystemer (Etzenmüller 1989).

Klima

Etter Köppens klimaklassifikasjon ligger Svalbard i den høgarktiske sonen med et tundraklima med minst en måned med høyere gjennomsnittstemperatur enn 0° C. Klimaet på vestkysten av øygruppen er påvirket av varme atlantiske havstrømmer. Dette medfører at årlige temperaturvariasjoner er relativt små på grunn av maritim innflytelse. I forhold til Brøggerhalvøyas nordlige beliggenhet er klimaet relativt mildt med kjølige somrer og vintermiddeltemperaturer ikke under -15°C. Nærmeste klimastasjon til Kvadehuken er Ny-Ålesund. Årsmiddeltemperaturen for Ny-Ålesund er -6,1°C. Varmeste måned er juli med 5,3°C, og kaldeste måneden er februar med -13,4°C. Årsmiddelnedbøren er på 373 mm og mesteparten av nedbøren kommer som snø. Ut fra klimadata fra klimastasjonen i Ny-Ålesund, kan en definere klimaet på Kvadehuken som høgarktisk med maritim innflytelse, med relativt lav sommer- og høye vintertemperaturer. Årsnedbøren er liten med relativt tørre somrer.

Permafrost

Svalbard ligger i en sone med kontinuerlig permafrost (French 1976; Washburn 1979). Gjennomsnittlig tykkelse av permafrosten på Svalbard varierer mellom 200 og 450 m (Liestøl, 1977). Målinger gjennomført i kullgruvene ved Ny-Ålesund (Orvin 1938) og Brøggerbreen (Liestøl 1977) viser

tykkelse av permafrosten på ca. 140 m. Permafrosttykkelsen på Kvadehuksletta regnes å ha lignende verdier. Det aktive laget i området varierer mellom 0,6-1,2 m. (egne målinger).

3. Teorier på dannelse og utvikling av steinsirkler

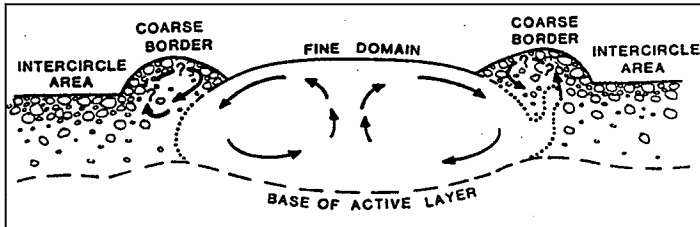
Frostjordsformer forekommer i periglasiale områder og indikerer permafrostforhold. Frostjordsformene består av flere ulike former. Washburn (1956, 1979) deler opp i sorterte og usorterte former av: sirkler, polygoner, nett, trinn og striper, en inndeling etter geometrisk form og sorteringsgrad.

Dannelsen av frostjordsformer, deriblant steinsirkler har vært gjenstand for forskning opp gjennom tidene. På tross av dette, eller kanskje derfor, er det flere teorier for deres dannelse/genese. Dannelsen av de ulike formene er polygenetisk, men det er to prosesser som er viktige: frostsortering og frosthevningprosesser (Etzelmüller 1989).

Initialstadiet for dannelse av sorterte sirkler forklares av flere forfattere (Sollid & Sørbel 1988; Etzenmüller 1989) til å være et overflatelag av grove sedimenter, forårsaket av vertikal sortering og akkumulasjon av finmateriale i dypere horisonter, som overlager en sone med akkumulert finmateriale hovedsaklig bestående av silt.

Ved gjentatte fryse- og tinesyklusler mener Hallet and Prestrud (1986) at fuktighetsgradienter i bakken kan føre til bevegelse av materiale med dannelse av en konveksjonscelle. I en konveksjonscelle vil det være oppadgående bevegelse av materiale i sentrum av sirkelen (konveksjon) og en nedadgående

bevegelse av materiale i periferi av sirkelen (subduksjon). Dette fører til en masseforflytning av materiale med dannelse av en steinsirkel på overfata. (se figur 2).



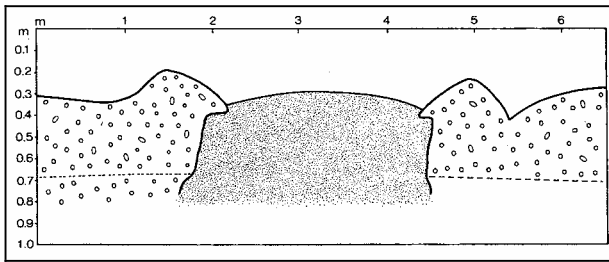
Figur 2. Konveksjonsmodellen (etter Hallet et al. 1989).

Sollid og Sørbel (1988) fremmer diapirteorien for dannelsen av steinsirkler på Kvaldehuksletta og mener at dannelsen av steinsirkler skjer ved at en diapirlignende struktur, nærmest en plugg av fint materiale bryter igjennom overflatelaget som består av grovere fraksjoner. Altså en vertikal bevegelse av materiale i motsetning til konveksjonscelleteorien som har både en vertikal oppadgående og nedadgående, og en horisontal bevegelse. Diapirstrukturen vil bevege seg oppover relativt til det grove materialet pga. mindre egenvekt (Sollid, pers. med.), større frosthevning i det fine materialet og gjentatte frosthevninger. Grovt materiale vil fortregnes, skyves opp og ut til sidene, og dermed danne en sirkel rundt det fine materialet – diapiren.

Frosthevningen skjer når det oppstår temperaturgradienter i bakken som er tilfelle både om høsten og om våren. Om høsten vil dette føre til at vann migrerer fra lavere jordlag til fryseplanet (mot lavere temperatur) der det dannes islinser (issegregasjon) og dermed frosthevning. Også volumøkningen av vann når det fryser bidrar til frosthevningen. Forutsetningen for at frosthevning skal skje er tilstrekkelig fuktighet til

islinsedannelse og at jorda består av materiale med en partikkelstørrelse der vannmigrasjon kan skje kapillært. Et for høyt leireinnhold vil for eksempel hindre vannmigrasjon dårlig permeabilitet.

Temperaturgradienten har også betydning ved at det må være en balanse mellom vannmigrasjon oppover til fryseplanet og frysefrontens bevegelse nedover (Coutard et al. 1988). Dersom frysefronten beveger seg for raskt nedover vil ikke vann migrere raskt nok til at islinser kan dannes. Frosthevingen kan også føre til en sortering av materiale ved at grovere steiner fryser opp.



Figur 3. Diapirmodell (etter Sollid & Sørbel 1988).

Dannelsen av et overflatelag av grovere materiale kan skje ved en vertikal sortering, enten pga. frostaktivitet eller bølgeaktivitet, eller også direkte avsetning av grovt materiale oppå det fine materialet. Forutsetningen for at en diapir av fint materiale bryter gjennom overflatelaget er at overflatelaget er ujevnt av tykkelse og stedvis tynt og dermed har et ujevnt frostplan.

Sollid (pers. med.) mener at fuktighet og materialtype er av avgjørende betydning for dannelsen av steinsirkelene på Kvadehuken. Det må være tilstrekkelig fuktighet og fint nok materiale grunnet det fine materialets frostsensibilitet og dermed dets utsatthet for frostheving.

Etzenmüller (1989) mener også en diapiroktig materialbevegelse i initialstadiet til dannelsen av steinsirkelene ut i fra forhold som ble funnet i sorterte sirkler på Kvadehuken. Finmaterialet har en skarp loddrett avgrensning mot steinringen og de omkringliggende lag, og steinene i steinringen rundt har en vertikal orientering mot en horisontal orientering i intersirkelarealet. Etzenmüller påviste en innblanding av forvittringsmateriale fra berggrunnen både i sirkelen og i intersirkelområdet, noe som tyder på en oppadgående bevegelse av materiale. Disse forhold mener han indikerer en vertikal bevegelse av proppen bestående av finmateriale. Andre prosesser enn ren frostsortering mener Etzenmüller indikeres ved finmaterialets sylindrerformede utstrekning helt ned til permafrosten og dens skarpe avgrensning mot gruskanten.

Washburn (1997) diskuterer en form som han definerer som *plug* som består av en vertikal sylinder av materiale som kan nå overflata og manifesteres seg som *plug circles*. Forskjellen mellom denne og steinsirkler er at *plug* ikke har en så høy steinkant rundt som en steinsirkel har. Høyden er på under 5 cm mens sorterte sirkler kan ha en høyde på opp i 50 cm, vanlig 20-30 cm. *Plug* kan også utvikle seg til andre former og det kan finnes overgangsformer.

4. Arbeidsmetode

For å belyse dannelsen av steinsirklene på Kvadehuksletta ble det gravd snitt i fire av dem: M1 og M2 (middels), L1 (liten) og S1 (singel). Disse lå i et område som tidligere var valgt ut og studert ved hjelp av kartblad Kvadehuksletta 1:10000 Geomorfologi og Kwartærgeologi, Tolgensbakk, J. og Sollid, J. L., 1987 og flybilder fra Norsk Polarinstittutt, serie S69 nr. 2204-2208 med hovedvekt på bildene 2206 og 2207. Figur 6 viser områdets beliggenhet på Kvadehuksletta, og sirklenes lokalisering i forhold til Geopol.

Et referanseområde på Platåberget ved Longyearbyen ble valgt ut med det formål å kartlegge steinsirklenes utbredelse i et forvittringsmateriale som skiller seg fra det materialet som finnes på Kvadehuksletta.

For et mulig representativt bilde av sirklenes utvikling er det lagt vekt på å studere ulike utviklingstrinn. Sirklene som snittene er gravd i representerer utviklingsstadiet liten og stor, samtidig som det er lagt vekt på forskjellen mellom en middels stor sirkel som grenser mot andre sirkler og en som ligger alene, uten fellesgrenser. M1 måtte under utgraving oppgis på grunn av at grunnvannsspeilet stod 10-15 cm under overflata, og det var umulig å lense snittet for vann.

Overflata på sirklene ble målt opp, tegnet av og fotografert både med Hasselblad og speilreflekskamera. På M2 ble det gravd et snitt tvers igjennom sirkelen av hensyn til dens størrelse. M2 ligger i et område der det er flere sirkler som ligger tett

og steinkantene på disse sirklene er sammenhengende med andre sirklers steinkanter. I L1 og S1 ble steinene fjernet på halve siden av sirklene og deretter ble snittet gravd innover mot midten av sirkelen. Dette ble gjort for å skaffe et overblikk over selve pluggen av finmateriale i sentrum av steinsirkelen, samtidig som både L1 og S1 begge var mindre en M2 og det lot seg således gjennomføre.

Det ble logget koordinater i sentrum av hver sirkel med en håndholdt Magellan GPS-mottaker. Snittene er logget med en ramme på 1x1 m, delt inn i 10 cm ruter, og deretter tegnet over på millimeterpapir. Det er tatt fem sedimentprøver i hver sirkel for analyse i laboratorium. Prøvene varierer i størrelse fra ca. 400 g til ca. 1000 g våt vekt, og de har en fuktighetsgehalt fra ca. 1 % til 11 %. De største prøvene er delt opp før analyse på sedimentologisk laboratorium, Geologisk Institutt, UiO. Resultatene fra sedimentanalysene er vist i appendiks.



Figur 4. Snittlogger. Inndeling i 10 cm ruter til bruk ved oppmåling av snittet. Kvadehuken, Svalbard, 1998. Foto: Terje Motrøen

5. Presentasjon av felldata

I det følgende kapittel blir det først gitt en generell beskrivelse av morfologi og fordelingsmønster av sorterte steinsirkler i undersøkelsesområdet. Deretter følger en beskrivelse av de tre snittene med foto og skisse av som viser sirklenes indre oppbygning.

Morfologi og fordelingsmønster

Morfologi

Formene på de sorterte steinsirklene markeres med et finkornet sentrum som er begrenset av en grovkornet kant bestående av grus og stein. Figur 5 viser tre utviklingsstadier på sorterte steinsirkler.

Sentrum har ofte en konveks overflateform og er i midten noen cm høyere enn ved overgangen til kanten som er veldig skarp. Sentrum viser ofte et frostsorтерingsmønster bestående av små polygoner med gruskanter. Steinkantene i bra utviklete sirkler blir opp til 40 cm høyere enn det finkornete sentrum, og har en asymmetrisk form med svak helning mot sirklenes sentrum og nærmest rasvinkel på utsiden.

Størrelse og form på sirklene varierer alt etter beliggenhet, helning i terrenget og utviklingsgraden. Velutviklede sirkler som ligger alene har en nærmest sirkulær form, mens formen blir mer uregelmessig når mange sirkler ligger sammen. Sistnevnte skyldes sammenvekst av flere sirkler og er markert med en forsenkning i midten av den felles gruskanten til to sirkler.

Diameter av sirkelene varierer etter utviklingsstadium og materialtilgang. De minste ble målt til ca. 50 cm i diameter, de største opp til 4-5 m. Gjennomsnittlig var diameteren på de godt utviklede sirkelene ca. 2 m.

Der sirkelene er under utvikling, dvs. sorteringsprosessen pågår, er steinmaterialet ferskt, mens de fossile sirkelene, dvs. der prosessen har stoppet opp, er det forskjellig lavvekst på overflata til steinene og i det indre området i sirkelene.

1)



Foto: Knut Nordahl

2)



Foto: Terje Motrøen

Figur 5: To utviklingsstadier på steinsirkler: 1. Liten, 2. Moden, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

Fordelingsmønster

Det regionale fordelingsmønsteret av sorterte sirkler på Kvadehukssletta er tidligere kartlagt av flere andre forskere (Tolgensbakk & Sollid 1987; Etzeelmuller 1989 m. fl.). Fordelingsmønsteret viser at velutviklede nett forekommer i område med lite helning ($< 2^\circ$), fortrinnsvis i forsenkninger foran fossile strandvoller og langs bekker. Dette er områder med naturlig høg vanntilgang grunnet den vanddemende effekt av strandvollene. Isolerte former kan utvikle seg også i terreng med større helning, som f eks på skråninger av fossile

strandvoller. Fordeling av sorterte sirkler er vist i figur 6 under kapittel 5.

Lokalitetsbeskrivelse - M2, L1 og S1

Det undersøkte område hvor det ble gravd tre snitt, ligger ca. 500 m vest-nordvest for Geopol (785706N 112852E) ved Grotptjønna. Området ligger mellom 40-45 moh. og ligger i en forsenkning i terreng med en svak helning mot nordvest omkranset av større og mindre strandvoller.

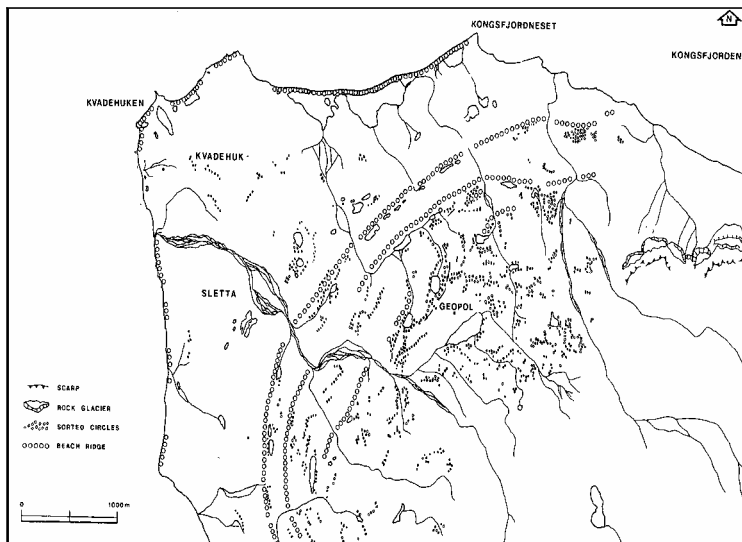
Snitt	Posisjon
M2	785702N 112757E
L1	785706N 112716E
S1	785714N 112735E

Tabell 1. Snittenes posisjon.

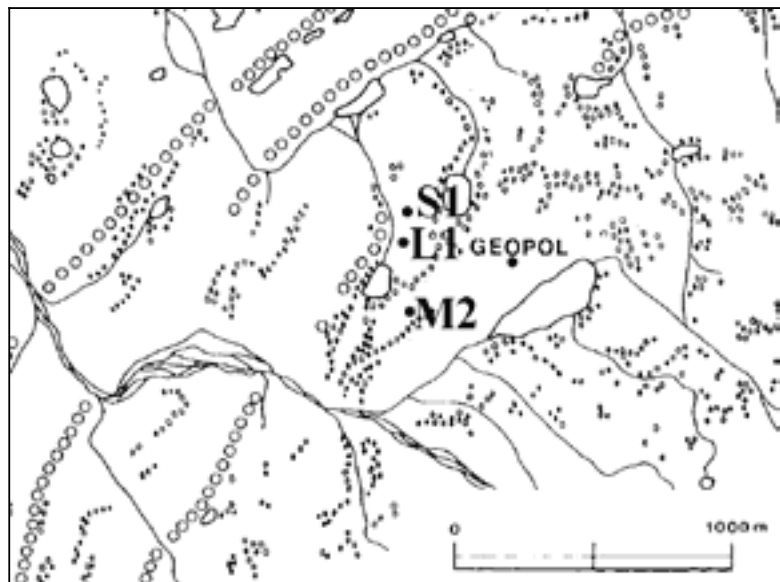
Løsmassene omkring M2 består hovedsakelig av marint strandmateriale fra Pre-Holocen, mens løsmassene ved L1 og S1 ligger i er preresent fluvialt materiale (Tolgensbakk & Sollid 1987). Området omkring sirkelene har relativt høy grunnvannstand, hvor grunnvannet delvis kommer fram i dagen og dreneres til et lite tjern som ligger like ved. Steinsirkelene L1 og S1 ligger i det laveste området langs utløpet fra tjernet mellom to strandvoller. Figur 6b viser kartutsnitt av figur 6a, hvor sirkelene som ble undersøkt er plottet inn.

Lokalitet M 2

Steinsirkelen ligger i et nett av andre sirkler. Sirkelene mangler intersirkelareal da stein-bordene støter inntil hverandre. Steinsirkelen har en irregulær form og dette kan skyldes at den grenser inntil andre sirkler. Formen er avlang med økende bredde mot ene enden av den avlange formen. Det indre området med finmateriale er tilnærmet flatt, med en liten oppbuling inn mot midten. Snittet ble gravd ned til permafrosten som hadde



Figur 6a. Kart over Kvadehuksletta. Etter Tolgensbakk og Sollid (1987).



Figur 6b. Kartutsnitt av figur 6a. Kartet viser plassering av de undersøkte lokalitetene M2, L1 og S1 i forhold til Geopol. Kvadehuken, Svalbard, 1998 (etter Tolgensbakk & Sollid, 1987).

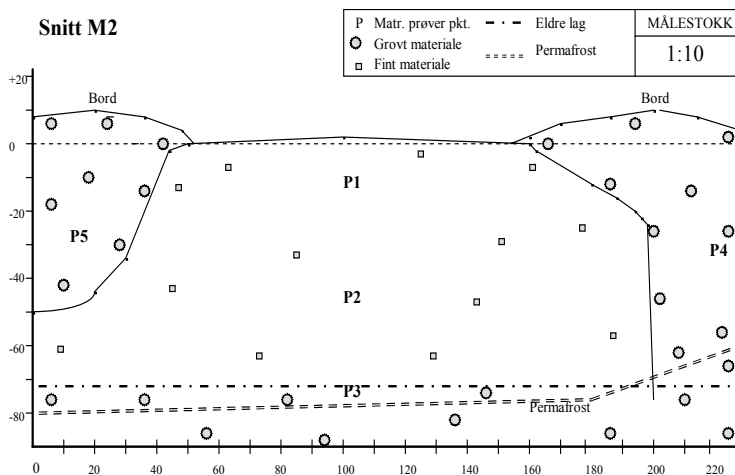


*Figur 7. Foto av snittet i steinsirkel M2, Kvadehuken, Svalbard, 1998.
Foto: Helene Eide*

en varierende dybde. Dybden på permafrosten var ca. 0,8 m under det fine materiale og ble grunnere ut mot ytterkanten med grovt materiale hvor den lå på ca. 0,6 m. I en dybde på ca. 0,7 m kom det fram et lag av grovt materiale. Dette kan være materiale som er avsatt i en annen tidsperiode (L. Sørbell pers. med.). Snittet er tatt i øst-vest retning. Ytterdiameteren (inkl. bord) var 2,55 m og den indre diameter (finmaterialet) var 1,10 m. Bordhøyden lå mellom 0,10-0,15 m. Det ble tatt 5 sedimentprøver av snittet.

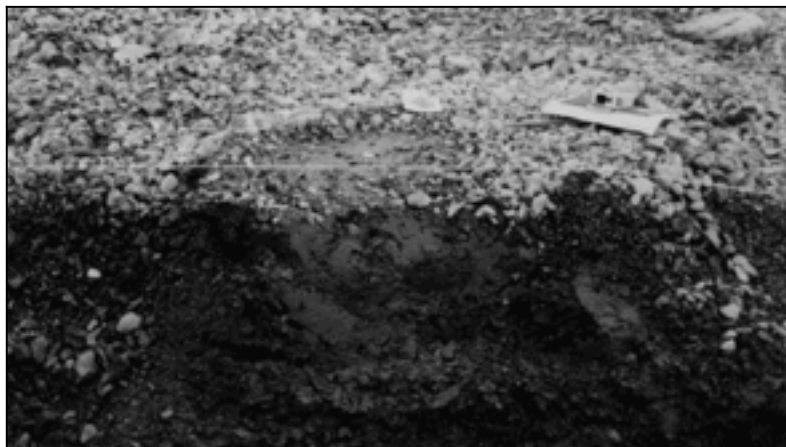
Lokalitet L 1

Sirkelen ligger i et område som er omkranset av flere unge sirkler. Sirkelen er flat i midten og har en bord av fint materiale og steiner på nord-øst siden. Denne borden strekker seg nedover mot sørsiden av sirkelen, og er fra 1 til 2 cm høyere enn sentrum av sirkelen. På vestsiden av sirkelen er det et område med uryddig grus, og ingen klar bord.



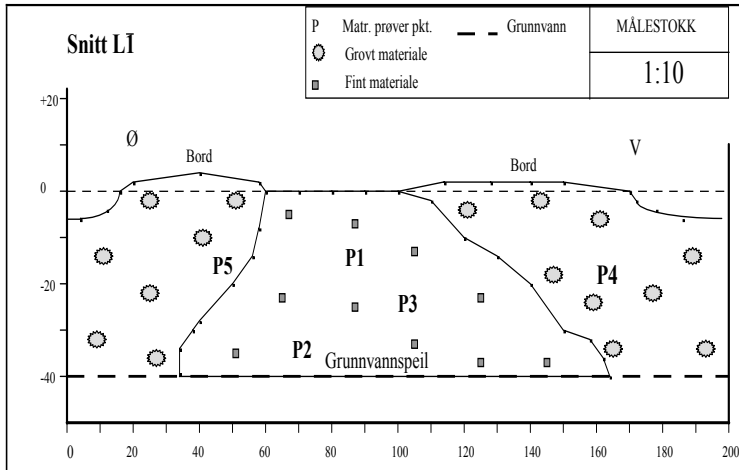
Figur 8. Snittskisse av steinsirkelel M2, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

Snittet som er gravd i L1 er 170 cm langt og 40 cm dypt. Dette er også dypet for grunnvannspeilet. På venstre side er det en bratt side under borden, mens det på høyre side under området med uryddig grus virker som om finmaterialet er i ferd med å skli ut. Høyre side er slak, og formen på snittet er veldig asymmetrisk.



Figur 9. Foto av snittet i steinsirkelel L1, Kvadehuken, Svalbard, 1998.
Foto: Knut Nordahl

Det er tatt fem sedimentprøver i snittet, to på hver side av finmaterialet i det grove materiale P4 og P5, på 20 cm dyp, en i midten P1 på 20 cm dyp, P2 under venstre bord, 35 cm og P3 under høyre side, 25 cm.



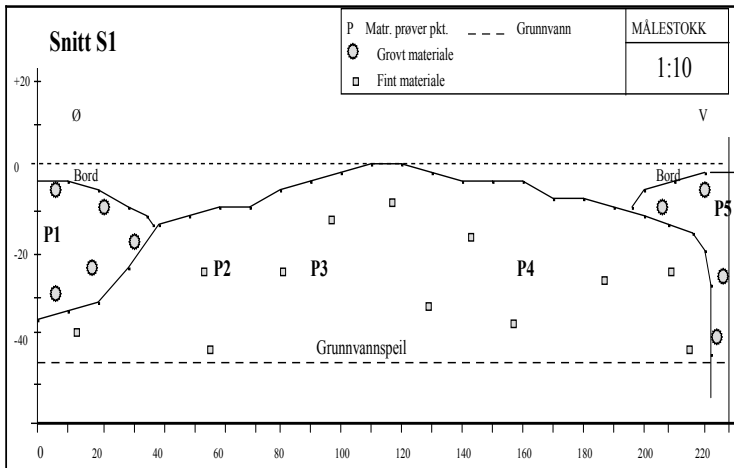
Figur 10. Snittskisse av steinsirkel L1, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

Lokalitet S 1

Dette er en singel sirkel som ikke har direkte kontakt med noen nabosirkler. Sirkelen ligger i et lavereliggende område med glasifluvialt materiale, ca. 200 m nord for et tjern mellom to strandvoller. Snittet ble tatt i øst-vest-retning, og ble gravd ned til grunnvannspeilet som framkom ved en dybde på 0,45 m. Sirkelen hadde en ytterdiameter på 3,5 m og diameteren på det finere materialet i sentrum var på 1,65 m. Snittet viser tydelig den asymmetriske formen på bordet, hvor det grove materialet har rast innover det fine materiale i sirkelens innerområde. Det ble tatt fem sedimentprøver i snittet.



Figur 11. Foto av snittet i steinsirkel S1, Kvadehuken, Svalbard, 1998.
Foto: Terje Motrøen



Figur 12. Snittskisse av steinsirkel S1, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

6. Diskusjon

Feltobservasjoner og laboratorieanalyser vil stå sentralt i denne diskusjonen og de vil kobles til den teoretiske tilnærmingen vi har til problemstillingen. Som utgangspunkt for problemstillingen er observasjoner og funn gjort av tidligere forskere, både med hensyn til studie av sorterte sirkler og geofysiografi. Av den grunn vil også diskusjonen knyttes opp mot disse forhold. Som innledning til diskusjonen om de prosesser som er medvirkende for dannelsen av sorterte sirkler på Kvadehuken, diskuteres sirklenes regionale fordelingsmønster for å finne en sammenheng mellom forekomst av sirkler og spesielle geofysisografiske forhold. En diskusjon og sammenligning av morfologien til ulike utviklingstrinn av sorterte sirkler kan si oss noe om de prosesser som skjer i løpet av utviklingstiden.

Regionalt fordelingsmønster

I forbindelse med vårt feltarbeid fant vi et fordelingsmønster av sorterte sirkler bestående av velutviklede nett i senkninger mellom strandvollene. Denne korrelasjonen mellom topografi og forekomst av sorterte sirkler viser seg å ha sammenheng med fuktighetsforhold og løsmaterialets kornsammensetning (Sollid pers. med.). Topografi vil være avgjørende for fuktighetsforholdene ved at vann drenerer ned fra ryggene og blir stående i senkningene. Kornsammensetningen til løsmaterialet har også betydning for fuktighetsregime. Fuktighetsregime i terrenget er en viktig faktor med hensyn til forvittringsprosesser, noe som igjen vil ha betydning for materialets kornsammensetning.

Frostprosesser i periglasiale miljøer er viktig for dannelse av sorterte sirkler, og vil være avhengig av fuktighetsforhold og kornsammensetningen til materialet. Frosthevning som viktigste faktor i dannelsen av sorterte sirkler (Sollid & Sørbel 1988; Washburn 1956, 1979) er først og fremst avhengig av tilstrekkelig fuktighet for at det skal skje en islinsedannelse ved issegregering. I tillegg er materialets kornsammensetning viktig for at vann skal kunne transporteres til frostplanet og for temperaturgradienten. Temperaturgradienten er igjen viktig for at frysefronten skal bli stående stasjonær (sammenheng med vanninnholdet) slik at islinser skal kunne dannes, altså en balanse mellom vanntransport oppover og frysefrontens vandring (Williams og Smith, 1989). Washburn (1979) mener det er nødvendig med flere prosent (angir ikke størrelse) materiale finere enn 0,07 mm, og Etzenmüller (1989) setter kravet til silt og leireinnhold til minst 15 % for utvikling av frostsortert strukturmark. Etzenmüller (1989) har satt en terskelverdi på mellom 10 og 15 % etter observasjoner gjort på Kvadehuken.

Morfologi

Det ble valgt ut to utviklingstrinn av sorterte sirkler etter kriterier som gikk på størrelse. L1 (tidlig utviklingsstadium) er liten i diameter (ca. 40 cm) og mangler en kant av grovt materiale rundt, mens M2 (moden sirkel) har en diameter på ca. 110 cm og har en kant av grovt materiale rundt. Sirkel S1 ble valgt ut som singel sirkel.

Overflateform: Sirklene på Kvadehuken har ulike former, fra irregulære til mer regulære runde former. Sirkelen M2 ligger i et nett av sirkler der de grovkornete kantene grenser inntil hverandre og mangler et intersirkelområde. Denne sirkelen har en irregulær form som har sin årsak nettopp i at den ligger i

et nett av andre sirkler. Dette sees tydelig ved å sammenligne formen til sirkler som ligger alene og de som ligger i nett av andre. Sirkel S1 (singel) grenser ikke til andre sirkler og har en mer regulær sirkelform, ulike den som M2 har. Denne observasjon gikk igjen i vårt feltområde.

De to ulike utviklingstrinnene L1 og M2 har ulik overflatemorfologi. L1 mangler en høy kant av grovkornet materiale, noe som den modne sirkelen M2 har. I tillegg ligger L1 høyere enn intersirkelarealet, det står nærmest en plugg opp av bakken av fint materiale. Årsakene til dette kan være flere. For det første, mangel på en kant av grovt materiale rundt det fine: Dersom overflatelaget av grovt materiale opprinnelig var veldig tynt, vil den kanten som dannes bli lav. Overflatelaget av grovt materiale er imidlertid ikke tynt, det har en dybde på minimum 40 cm på sidene av det fine materialet, og mangel på kant av grovt materiale skyldes derfor ikke dette forhold. Det at L1 antageligvis er i et tidlig utviklingsstadium medfører også, dersom frostsortering av materiale er viktig for dannelsen, at denne prosessen ikke har hatt tilstrekkelig tid til sortering av materiale. Imidlertid er materialet i utgangspunktet godt sortert på Kvadehuken, noe som medfører at senere frostsortering ikke er spesielt viktig for dannelsen. Frostsortering kan imidlertid forsterke mønsteret, men antageligvis ikke være dominerende i selve dannelsen av mønsteret. Mangel på en kant av grovt materiale rundt kan ha sin årsak i det andre forholdet som nevnes, at pluggen står opp av bakken. Den fine pluggen har et veldig høyt innhold av materiale av en størrelse $< 0,063$ mm, helt opp i 49,60 % (40,88 % lenger ned i snittet) og et vanninnhold på ca. 11 %.

Etså høyt innhold av fint materiale vil føre til en stor frostheving (Washburn 1979), både absolutt og relativt, til området rundt

av grovt materiale der det ikke skjer frosthevning grunnet mangel på fint materiale.

Det faktum at pluggen står over det nivået som intersirkelarealet utgjør og mangler en høy kant rundt, kan altså forklares ved høyt innhold av fint materiale med stor frosthevning grunnet islinsedannelse og issegregering. Dette medfører volumøkning, relativt til det grove materialet der ingen frosthevning skjer. Det er viktig å koble dette til tidsaspektet med gjentatte fryse- og tinesyklus med frosthevninger. Dette kan være sentrale forhold med hensyn til dannelsen av sorterte sirkler og tas opp igjen senere i diskusjonen.

M2 og S1 har en markert kant av grovt materiale rundt. Dette kan skyldes at materiale er sortert ut fra den fine pluggen ved frostsoring over lengre tidsrom, noe som tidligere er konkludert med ikke er en viktig prosess da materialet i utgangspunktet er godt sortert. Det kan skyldes at den fine pluggen gjennomgår setninger og det fine sentrum synker ned igjen i forhold til den grove kanten rundt. Derav kan vi få dannet en høy gruskant der materiale raser innover det fine i sentrum.

Asymmetrisk vertikal form: Både M2, S1 og L1 har en asymmetrisk vertikal form som utgjøres av det fine materialet. Den single sirkelen S2 og den modne sirkelen M2 har noenlunde lik form med en utstrakt grense mellom det grove og det fine som heller mot øst. Formen på grensen mellom det fine og det grove materialet mot vest er ikke så utstrakt og går omtrent rett nedover i snittet. L1 har en motsatt form av S1 og M2 med en utstrakt form mot vest og en mer tverr grense mot øst. S1 og L1 heller i samme retning mot vest. Helning på sirkelen med derav aktivitet av massebevegelsesprosesser

kunne gitt en asymmetrisk form. Formen til S1 og M2 tilsier at massebevegelsesprosesser ikke er bestemmende for formen da denne ikke er utstrakt i den retningen som sirkelen heller, mens L1 kan gi en indikasjon på en slik sammenheng.

S1 har en form bestående nærmest av trappetrinn, noe de andre sirklene ikke har. Hva denne formen kan skyldes er usikkert. Et heterogent materiale med større innhold av fint materiale på enkelte steder vil her gi større frostheving og dermed få et høyere nivå enn områder med mindre fint materiale. Om dette er tilfelle, har vi ikke noe grunnlag for å kunne slå fast.

Dannelse

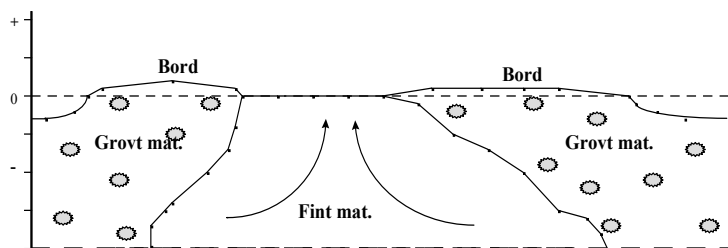
Målet er å fastslå om sorterte sirkler på Kvadehuksletta er dannet av en diapirstruktur i vertikal, oppadgående bevegelse. Det er vanskelig å si noe om prosesser medvirkende til en formdannelse som har skjedd på et tidligere stadie. Dette problemet har vi løst ved å se på ulike utviklingsstadier av sorterte sirkler. Imidlertid vil prosesser som regel manifestere seg som strukturer eller former i materialet, og slutninger kan med forsiktighet trekkes ut i fra de formene som finnes. Vi må også ha i minne at samme prosess kan gi ulike former og at en form kan være resultat av flere prosesser som enten har virket enkeltvis eller i samspill.

Ut i fra de sorterte sirklens regionale fordelingsmønstre har vi kunnet si noe om materiale og fuktighetsforhold, og hvilke prosesser som kan skje under rådende forhold. Ut i fra sirklens morfologi kan vi også få antydninger om hvilke prosesser som skjer.

Materiale og fuktighet

For å kunne si noe om frostprosessers betydning i forbindelse med dannelse av sorterte sirkler er det tatt sedimentprøver på ulike steder i det vertikale snittet av sirklene. En tydelig ujevn fordeling av materialet i de sorterte sirklene med en ring av grovmateriale rundt en propp av fint materiale støttes opp av sedimentprøver. I alle de tre gravde sirklene er det ikke tilstrekkelig fint materiale til stede i den grove kanten rundt til at frosthevning kan skje der. I sentrum av sirkelen er det et varierende innhold av finmateriale med en partikkelstørrelse på under 0,063 mm med en tendens til økende mengde av silt innover og oppover i snittet. Dette illustreres ved figur 13.

Denne fordelingen av materiale med økende siltmengder oppover i snittet mener vi kan skyldes den vannmigrasjonen som skjer i forbindelse med frosthevingen. Når vann migrerer til frysefronten kan det i dette vannet være oppløst små mengder av fint materiale (Washburn 1979).



Figur 13: Prinsippskisse av et snitt i en steinsirkel der pilene viser en mulig vandring av finmateriale i de tre snittene.

Alle de tre sirklene har tilstrekkelig fint materiale i sentrum til at det skjer frostheving, likeså at fuktighet er til stede. Den største frosthevingen vil skje i L1 som er på et tidlig utviklingsstadium med store mengder fint materiale (opptil 50 % i de øvre lag) og nok fint materiale nedover i snittet til at fuktighet transporteres mot frysefronten.

M2 har noe lavere mengde, men også høyt innhold av finmateriale høyest oppe i snittet (ca. 33 %) og mindre nedover. I disse sirkelene vil det altså skje en stor frostheving relativt til omkringliggende grovmateriale der det ikke vil skje frosthevning. Ved gjentatte frosthevinger vil finematerialet kunne beveges oppover i profilet relativt til det grove på grunn av store volumøkninger ved issegregasjon. Når så dette forhold kobles med tidligere kartlegging på Kvadehuken av et overflatelag av grovt materiale med varierende tykkelse med lag av finere materiale under (Etzenmüller 1989; Sollid og Sørbel 1988), så tilsier det at de finere løsmassene som opprinnelig låg under de grove har beveget seg oppover i profilet og igjennom det grove materialet. Dette forløpet skisseres også av de samme forfattere i forbindelse med diapirteorien. Med støtte i våre sedimentprøver, samt tidligere funn mener vi at denne oppadgående bevegelsen av løsmassene kan skje ved gjentatte frosthevinger over lang tid i et materiale rikt på finfraksjoner, og at denne bevegelsen fører til lateral og vertikal forskyvning av grovt materiale rundt. Det at det grove overflatelaget har ujevn tykkelse er viktig i denne sammenheng. Det fine materiale vil trenge igjennom det grove og komme opp til overflaten.

Det kan muligens også medføre andre viktige forhold for dannelsen av sorterte sirkler. Det ujevne overflatelaget av grovt materiale fører til at frysefronten, når det aktive laget fryser, trenger raskere ned der det grove materialet er tykt pga større termiske konduktivitet og mangel på fuktighet (Coutard et al. 1988; Clark 1988). Samtidig skjer også en frysing fra permafrosten under med det resultat at en celle av fint materiale blir omsluttet av det frossen. Trykkforskjeller kan så føre til at finmassene presses oppover i profilet mot overflaten.

Forekomst av fint materiale i sentrum tilsier at en frosthevning skjer i sentrum, men ikke i det grove materialet rundt. Dette kan ha hatt betydning for dannelsen av sirkelene ved gjentatte frosthevninger har beveget seg vertikalt oppover i profilet som en diapir eller plugg og forskjøvet det grove materialet. Forekomst av fine sedimenter omgitt av grove tilsier også dannelse av en ufrosset celle omgitt av frosset materiale når det aktive laget fryser om høsten. Dette kan føre til en vertikal bevegelse oppover i profilet ved at det grove materialet utøver et trykk på det fine.

Den vertikale formen på det fine materialet som omgis av den grove kanten, har en kjegle- eller konlignende form som figur 3 illustrerer. Denne formen mener vi tilsier at bevegelsen av materiale med dannelse av en sortert sirkel på overflaten er forårsaket av en diapirbevegelse med en vertikal oppadgående materialbevegelse. Dersom den sorterte sirkelen hadde oppstått på grunn av bevegelse i en celle slik som konveksjonsteorien sier (Hallet and Prestrud 1986), ville den vertikale formen hatt en rundere form slik som figur 2 viser. I en slik sirkulasjonscelle ville vi også fått en opphoping av materiale i sentrum, noe som ikke alltid er å finne i de sorterte sirkelene på Kvadehuken. Den konlignende formen mener vi tilsier en vertikal bevegelse som en diapirstruktur.

Den klare avgrensningen av det fine og det grove materialet i L1 som er på et tidlig utviklingsstadium, tilsier at en sortering av materialet har skjedd på et tidlig stadium i dannelsen av sirkelen. Dette støtter vår tidligere konklusjon at frostsorteringen er av mindre betydning ved dannelsen av sirkelen. Frostsortering kan imidlertid ha hatt betydning ved dannelse av et overflatelag av grovt materiale.

Etzenmüller (1989) fant en vertikal orientering av materiale i steinsirkelen mot en horisontal orientering i intersirkelarealet. Dette støtter opp om en vertikal bevegelse i den fine pluggen med derav vertikal orientering av det materialet som ligger inntil pluggen og som dermed påvirkes av bevegelsen.

Washburn (1997) omtaler en frostjordsform som han betegner som *plug* og *plugcircles*. Sirkelen L1 som er på et tidlig utviklingsstadium minner mye om det som Washburn omtaler som *plug*. *Plugcircles* mangler en høy kant av grovt materiale og har en sylinder som strekker seg nedover i profilet. Washburn mener også at *plug* kan utvikle seg til andre former. Vi stiller spørsmål om *plug* er et tidlig utviklingsstadium av sorterte sirkler da vår L1 minner mye om det Washburns omtaler som *plug*.

7. Konklusjon

Det regionale fordelingsmønsteret gir en indikasjon på hvilke forhold som begünstiger dannelse av sorterte sirkler, nemlig tilstrekkelig fint materiale og fuktighet. Dolomitt i berggrunn og løsmateriale har ved forvitring gitt et materiale med høyt innhold av silt, en prosess som fremmes i senkningene i terrenget på grunn av fuktighet.

Dannelsen av sorterte sirkler på Kvadehuksletta har som utgangspunkt den ujevne og stedvis tynne fordelingen av et grovt overflatelag med et lag av finere materiale under.

Frosthevning i det fine materialet mener vi er en viktig og avgjørende prosess ved dannelsen av sirklene ved at gjentatte frosthevninger med islinsdannelse og volumøkning fører til en bevegelse av materiale oppover i profilet relativt til det grove materialet. Det grove materialet vil fortrenses oppover og til sidene og bli liggende som en sirkel rundt pluggen av fint materiale. Dette støttes av våre materialprøver som viser høyt innhold av silt i den fine pluggen, sirklens vertikale og horisontale morfologi og tidligere funn av materialfordelingen.

Frostsortering er ikke viktig i selve dannelsen av sorterte sirkler da materialet allerede i utgangspunktet er godt sortert, og støttes også av den klare avgrensningen mellom grovt og fint materiale i sirkelen. Frostsortering har imidlertid vært viktig i initialstadiet ved dannelsen av det grove overflatelaget.

Det ujevne overflatelaget av grovt materiale kan også føre til at vi får dannet trykkforskjeller ved frostnedtrenging i det aktive laget med fortrengning av materiale oppover i profilet på grunn av trykkforskjeller. Dette forløpet er i tråd med det som tidligere forskere har skissert som årsak til dannelse av sorterte sirkler på Kvadehuksletta (Sollid og Sørbel 1988; Etzenmüller 1989), og er det vi kaller dannelse av sorterte sirkler ved bevegelse av en diapirstruktur.

Litteratur

Anderson, S.P. 1988: *Upfreezing in sorted circles*, Western Spitsbergen. Proceedings, V. International Permafrost Conference, 1, 666-671.

Clark, M.J. 1988: *Advances in periglacial geomorphology*. John Wiley & Sons, Great Britain.

Coutard, Van Vliet-Lanoe and Auzet 1988: *Frostheaving and frost creep on an experimental slope: Results for soil structures and sorted stripes*. Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Supp.-B.d.71, 13-23. Berlin – Stuttgart.

Etzmüller, B. 1989: *Finkornet materiale, dets dannelse og betydning for frostprosesser på Kvadehuksletta, Svalbard*. Hovedoppgave, Geografisk institutt, UiO.

Hallet, B. & Presterud, S. 1986: *Dynamics of Periglacial Sorted Circles in Western Spitsbergen*. Quaternary Research 26, 81-99.

Liestøl, O. 1977: *Pingos, springs and permafrost in Spitsbergen*. Norsk Polarinstituttets Årbok 1975, 7-25.

Orheim, A. & Sollid, J.L. (Eds.) 1988: *Svalbard, Excursion Guide*. Geografisk institutt UiO, Naturgeografisk serie. Rapport nr. 8.

Orvin, A.K. 1934: *Geology of the King Bay Region, Spitsbergen*. Skrifter om Svalbard og Ishavet, 57, 190 s.

Orvin, A.K. 1942: *Om dannelse av strukturmark*. Norges Svalbard- og Ishavsundersøkelse, Meddelelse nr. 55.

Sollid, J.L., Sørbel, L. & Etzenmüller, B. 1989: *Geomorphological studies on Kvadehuksletta, Svalbard*.

Tolgensbakk, J. & Sollid, J.L. 1987: *Kvadehuksletta, geomorfologi og kvartærgeologi, 1:10000*. Geografisk Institutt, UiO.

Washburn, A.L. 1997: *Plugs and Plug Circles: A Basic form og patterned ground, Cornwallis Island, Arctic Canada – Origin and Implications*. Geological Society of America, Memoir 190.

Washburn, A.L. 1979: *Geocryology, a survey of periglacial processes and environment*. Edward Arnold, Washington, New York.

Washburn, A.L. 1956: *Classification of Patterned ground and review of suggested origins*. Bulletin of the Geological society of America. Vol. 67, PP 823-866. July 1956.

Williams, P.J. & Smith, M.W. 1989: *The Frozen Earth – Fundamentals of geocryology*. Cambridge University Press 1989

Ødegård, R., Sollid, J.L. & Trollvik, J.A. 1987: *Kystkart Svalbard A3 Forlandsundet 1:200000*. Geografisk Institutt UiO.

Appendiks

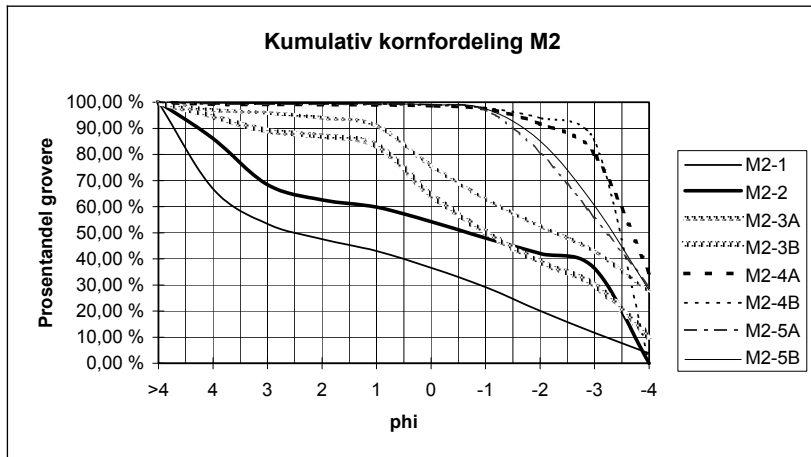
Resultater fra sedimentprøver

Appendiks 1: lokalitet M2

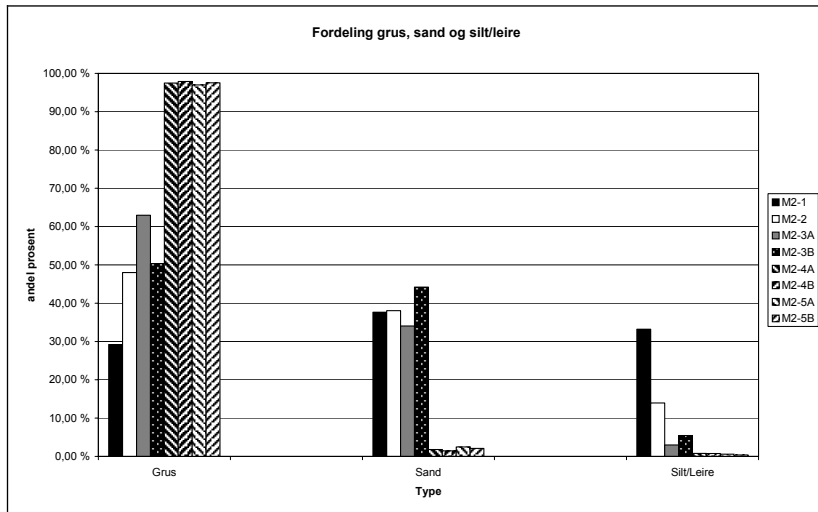
Appendiks 2: lokalitet L1

Appendiks 3: lokalitet S1

APPENDIKS 1

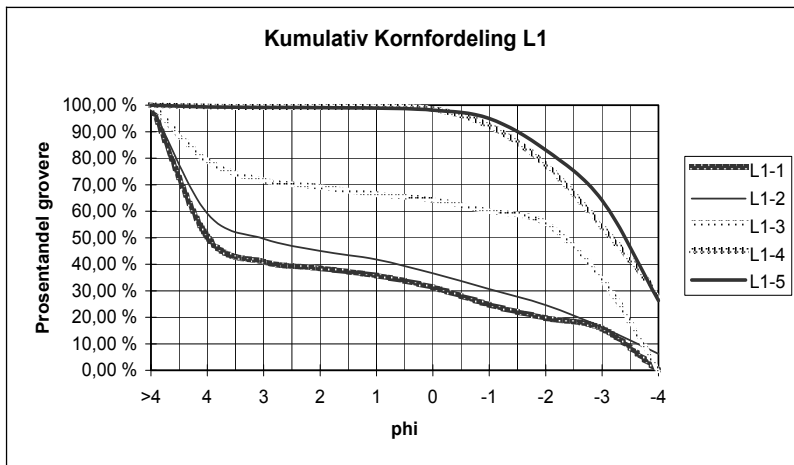


Kumulativ kornfordeling i snitt M2. Kvadehuken, Svalbard, 1998.

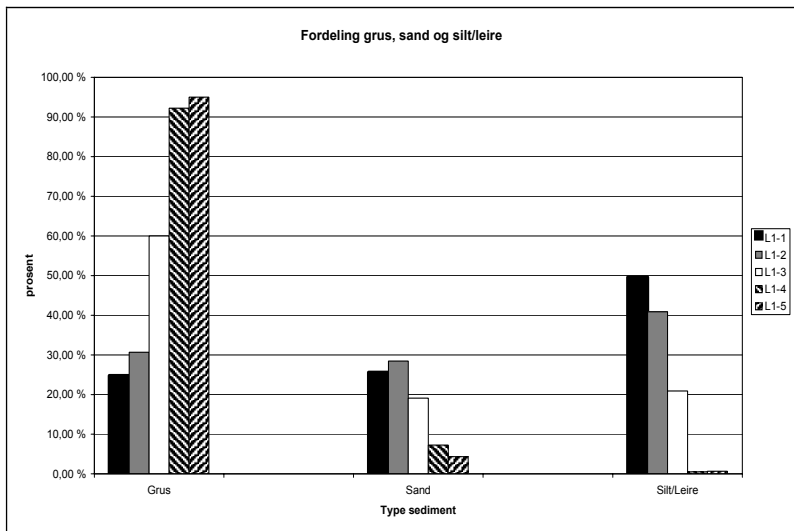


Prosentvis fordeling av grus, sand og silt i steinsirkel M2, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

APPENDIKS 2

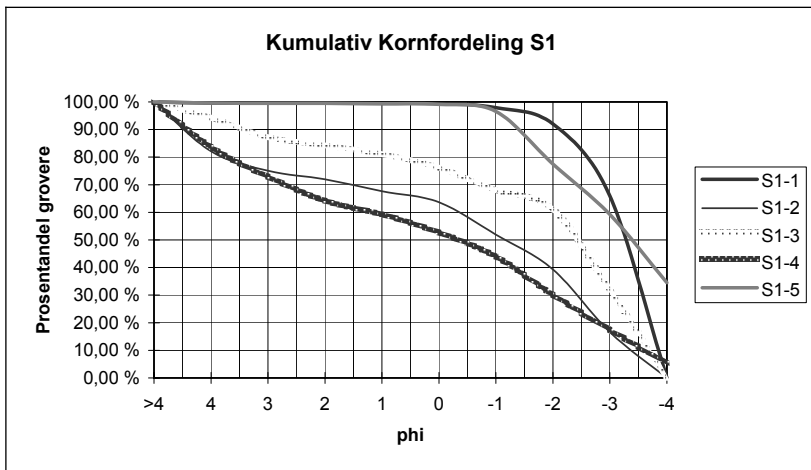


Kumulativ kornfordeling i snitt L1, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

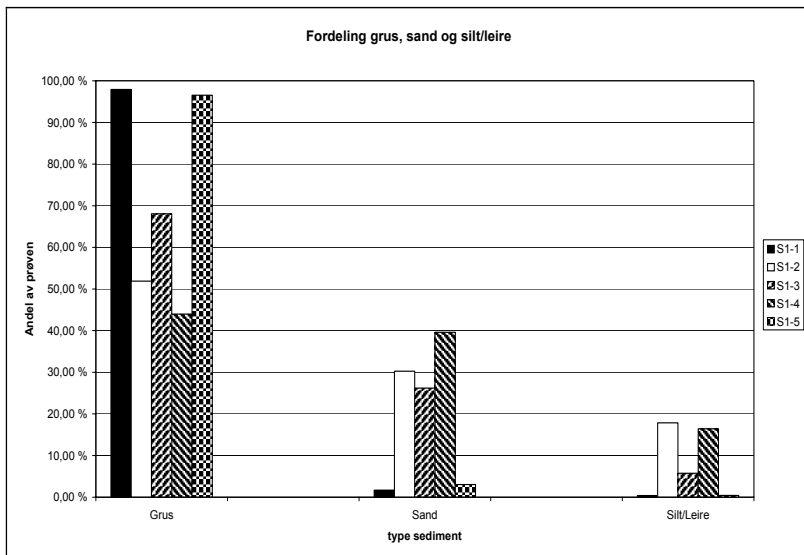


Prosentvis fordeling av grus, sand og silt i steinsirkel L1, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

APPENDIKS 3



Kumulativ kornfordeling i snitt S1. Kvadehuken, Svalbard, 1998.



Prosentvis fordeling av grus, sand og silt i steinsirkel S1, Kvadehuken, Svalbard, 1998.

