

**KONTAKTUTVALGET FOR VASSDRAGSREGULERINGER,
UNIVERSITETET I OSLO**



Stein-Erik Lauritzen

**INNFØRING I KARSTMORFOLOGI
OG SPELEOLOGI
REGIONAL UTBREDELSE AV
KARSTFORMER I NORGE**

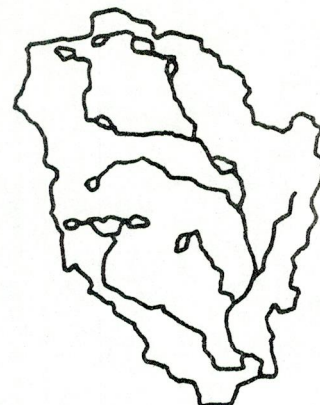
**NORGES
VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
BIBLIOTEK**

OSLO 1981

RAPPORT 27

719
K

KONTAKTUTVALGET FOR VASSDRAGSREGULERINGER
UNIVERSITETET I OSLO
POSTBOKS 1066
BLINDERN
OSLO 3



NORGES
VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
BIBLIOTEK

STEIN-ERIK LAURITZEN

INNFØRING I KARTSMORFOLOGI
OG SPELEOLOGI
REGIONAL UTBREDELSE AV
KARSTFORMER I NORGE

INNFØRING I KARSTMORFOLOGI OG SPELEOLOGI
REGIONAL UTBREDELSE AV KARSTFORMER I NORGE

Stein-Erik Lauritzen



FORORD

Hensikten med dette skriftet er å gi interesserte en kortfattet innføring i hovedprinsippene i karstformers morfologi og genese. Dette er ingen fyllestgjørende innføring i alle aspekter ved emnet, jeg har valgt ut stoff som jeg mener har relevans til norske forhold. Rapporten er også ment som en bredere og supplerende innledning til kommende rapporter, som systematisk vil ta for seg karstformene i Norge i detalj. Den første som er på trappene, blir en detaljert oversikt over Saltfjell-Svartisen med verne vurdering av formene.

Denne innføringen gir også argumenter for at studier av karstformer i Norge kan gi viktige resultater av stor betydning for andre fagområder; som geomorfologi, paleoklimatologi, kvartær kronologi samt resent og interglasial økologi. Den våkne leser vil innse at muligheten til absolutt-dateringer av speleothemer (dryppstein) og grottesedimenter er viktige redskaper til å klarlegge landskapsutviklingen i Norge og dens kronologi.

I det siste kapitlet har jeg gitt en faglig vurdering av norsk karstlitteratur, samt en oversikt over karstformenes regionale utbredelse i Norge slik de er kjent i dag.

Denne rapporten er fremkommet som et biprodukt fra min egen forskning på karstformer og deres genese i Norge de siste 6 år. I den anledning vil jeg få rette en takk til alle som har assistert under min feltforskning, samt følgende institusjoner/firmaer som på forskjellig måte har støttet dette arbeidet:

Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, UiO;
Norges Vassdrags- og elektrisitetsvesen; Zoologisk
Institutt, UiO; Kjemisk Institutt, UiO; Nansenfondet
og de dermed forbundne fond; Ciba-Geigy A/G;

Collett Marwell-Hauge A/S; Chr. Bjelland & Co A/S;
Forenede Margarinfabrikker A/S; Helios A/L; Mølle-
sentralen I/S; Philips Norge A/S og Toftdahl & Co A/S.

Blindern, mars 1981

Stein-Erik Lauritzen

Stein-Erik Lauritzen

INNHold

	Side
GENERELL DEL	
1.1 Innledning	1
1.2 Klassifikasjon av karstformer	3
Holokarst eller ekte karst	3
Fluviokarst	3
Glasiokarst og nival karst	4
Tropisk karst	5
Arid og semi-arid karst	5
Jakucs' system	6
1.3 Karstprosessens mekanisme og kinetikk	8
Oppløsning av kalkstein	8
Andre effekter av speleogenetisk betydning	
a) Blandingskorrosjon	12
b) Oksydasjonsprosesser	14
Karstdenudasjon	15
1.4 Karstmorfologi	21
Overflateformer	21
Grottemorfologi	25
Grottedannelse (speleogenese)	27
Litovariansens innflytelse på speleogenesen	
a) Stratigrafiske faktorer	31
b) Sprekkesystemer	31
Hydrauliske og geomorfologiske faktorer	
a) Hydrauliske faktorer	33
b) Geomorfologiske faktorer	35
c) Sedimentinnfyllinger - paragenese	35
Klassifikasjon av grotter	37
Ford's speleogenetiske modell fra Mendip Hills, England	37
Mekaniske modifikasjoner i grotter	39
Isgrotter	40

1.5	Speleokronologi	41
	Sedimentære sekvenser i grotter	41
	Absolutt-dateringer på kjemiske sedimenter ...	42
	Radiometrisk datering av dryppstein	
	¹⁴ C-metodikk	43
	Uran-serie dateringer	43
1.6	Biospeleologi	46
	Grotte-økosystemer som økologiske laboratorier	46
1.7	Arkeologi og paleontologi i grotter	47
1.8	Forslag til vernekriterier for karst	50
SPESIELL DEL		
2.1	Kort historikk over norsk speleologi og en kritisk inndeling av karstlitteratur	53
2.2	Regional utbredelse av karsthuler i Norge	55
2.3	Utbredelse av karst og karbonatbergart i Saltfjell-Svartisområdet	57
SUMMARY	60
REFERANSER	62
FOTOGRAFIER	68

1. GENERELL DEL

1.1. INNLEDNING

Der hvor berggrunnen inneholder oppløselige bergarter vil kjemisk forvitring kunne dominere denudasjonsprosessene, og det dannes spesielle topografiske former som kalles *karst*. I tillegg dannes et spesielt karst-hydrologisk regime. Prosessen kalles *forkarstning* eller karsting.

Karstprosessen er i prinsippet en kjemisk prosess hvor kjemiske likevektsreaksjoner er essensielle prosessvariable. Andre, tradisjonelle geomorfologiske prosesser, som frostforvitring, fluvial erosjon, glasiasjon og solifluksjon er oftest av sekundær betydning for karstutviklingen. Slike prosesser virker også ofte hemmende på karstprosessen. Forkarstningen er videre kontrollert av geologiske (strukturelle og kjemiske), klimatiske og tildels biologiske faktorer. Karst finnes best utviklet i kompakte, oppløselige bergarter. Dette er oftest krystallinske karbonatbergarter, sjeldnere gips og steinsalt. I tropiske strøk finnes unntaksvis korrosjonsformer utviklet på silikatbergarter (pseudo-karst).

Topografisk sett karakteriseres karstlandskaper med lukkede forsenkninger (doliner, poljer), blinde daler og en sterkt oppspist bergoverflate (karren) hvor vegetasjonen kan være relativt sparsom. Hydrologisk er karst karakterisert ved at dreneringen overveiende foregår underjordisk. Nedløp (sluk), kilder og grotter er vanlige fenomener.

Globalt utgjør karstformer ca. 13% av jordoverflaten (Sweeting 1972), fig. 1. Sammenliknet med andre landformer, er karst et vanlig fenomen på global basis. De klassiske karstområdene ligger i Jugoslavia ved Adriaterhavet, og mange av termene har sin opprinnelse i slaviske språk (fig. 2).

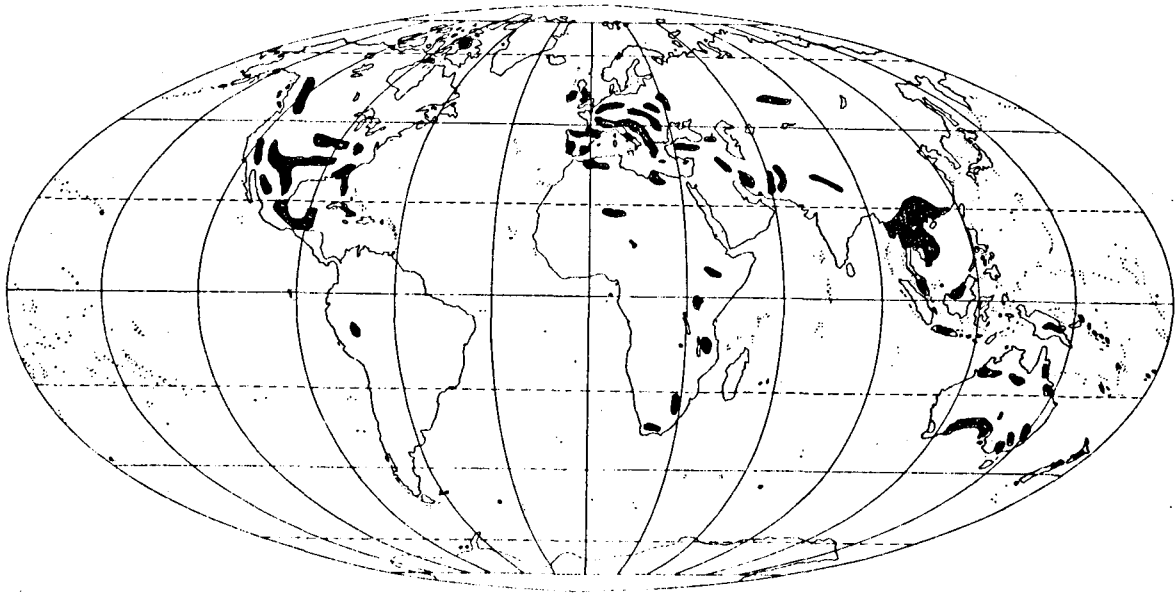


Fig. 1. Global utbredelse av karst. Etter Sweeting (1972).

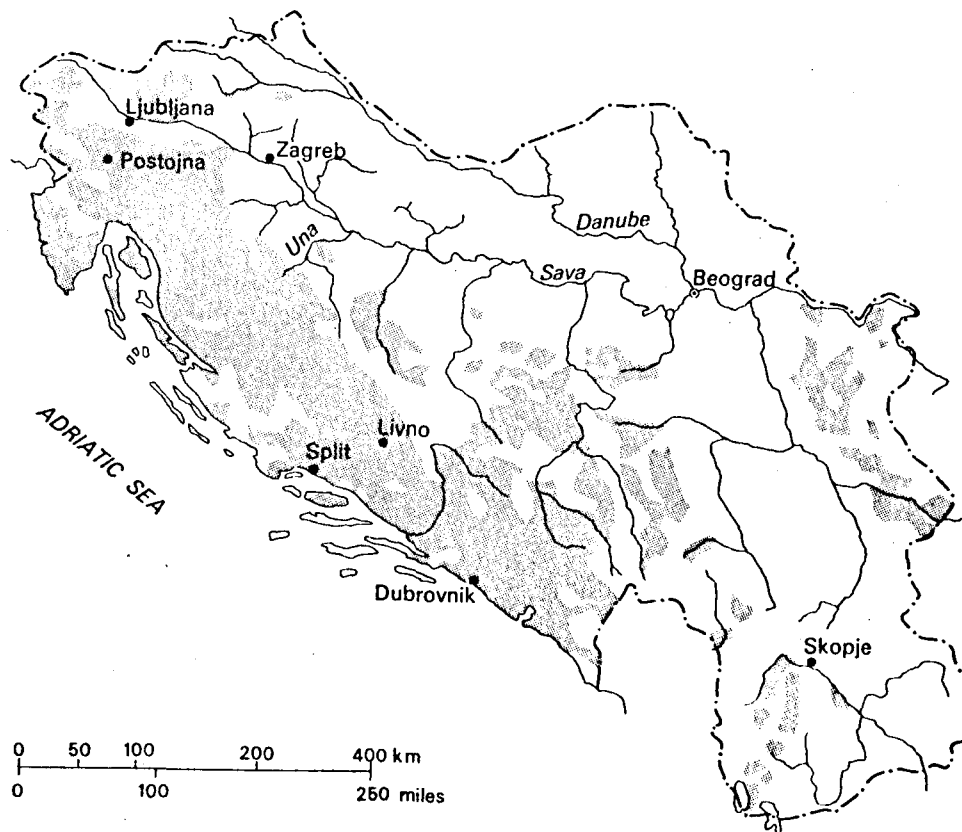


Fig. 2. "Klassiske" karstområder i Jugoslavia. Etter Sweeting (1972).

1.2. KLASSIFIKASJON AV KARSTFORMER

Karststudier har vært mindre påvirket av Davis' syklus-begrep enn andre deler av geomorfologien (Sweeting 1972), og det har vært lansert en rekke morfogenetiske klassifikasjonssystemer. De første var tilpasset det klassiske og det Dinariske karstlandskapet, men etterhvert som kunnskapen om andre (og forskjellige) områder har økt, har også nye klassifikasjonssystemer blitt foreslått. Sweeting (1972) inndeler karst-landformer i 5 hovedtyper:

1) *Holokarst eller ekte karst*

Karst utviklet i tykke kalksteiner. Landformene er dannet hovedsakelig av oppløsningsprosesser. Doliner og dolinetypeformer er vesentlige formelementer. Dreneringssystemet er hovedsakelig underjordisk og er ikke relatert til overflatetopografien. Grotter eksisterer på stort dyp og er sjelden tilgjengelige; horisontale grotter er sjeldne.

2) *Fluviokarst*

Er dannet ved en kombinasjon av fluvial og karstprosesser. Dypere sirkulasjonssystemer er lite utviklet, lokal erosjonsbasis dirigerer ofte forkarstningen. Regressiv erosjon er viktig. Dalsystemer er vesentlige formelementer i fluviokarst, mens dolinelandskaper dannes på platåene mellom dem. Landformer assosiert med at vann forsvinner og kommer tilsyne igjen, er vanlige, spesielt blinde daler og nedløp av alle typer. Grotter er svært utbredt i fluviokarst; horisontale systemer, dirigert av lokale erosjonsbasis er typiske. Nedløpsgrotter er særlig konsentrert langs karstens grenseområder hvor allogeometrisk drenering kommer inn på kalken. Løsmassedekke er vanligere i fluviokarst enn i holokarst.

3) *Glasiokarst og nival karst*

Dannes ved en kombinasjon av glasiiale, periglasiale og nivasjonsprosesser sammen med karstprosessene. Glasial erosjon på kalk gir enten benking (Schichttreppenkarst, Bøgli 1979), fig. 3, eller rundsva. Glasiiale mikroformer (skuring) forsvinner etter ca. 10 år dersom de ikke er beskyttet av løsmasser. Glasiiale sedimenter (morene, flyttblokker) beskytter underliggende kalk mot korrosjon og bidrar til å danne relieffet i glasiokarst. Dolinelandskaper preget av nivasjonsprosesser (snødoliner, kotlichi) er vanlige. Såkalte sprekkdoliner (Hellden 1974) er foreslått som typiske for glasiokarst. Grotter og vertikale sjakter er karakteristiske. Intens frostforvitring kan dominere over karstprosessene og gi blokkmark i polare og alpine strøk.

Ford (1977a) inndeler glasiokarst etter et system som bygger på relativ kronologi mellom karstformer og glasiiale landformer:

I) *Postglasial karst*

Formene skyldes oppløsning, dannet uavhengig av om topografien er glasial eller ikke.

II) *Karstigliasiale former*

Formene er av glasial opprinnelse, men de er modifisert eller aksentuert av karstprosesser. Eks.: Overfordypede botner (botnsjøer) og morenedemte vannmasser som drenerer underjordisk.

III) *Glasiale karstformer*

Formene er av karst opprinnelse, men er modifisert av glasiiale prosesser. Eks.: Doliner som viser tegn på plukking ved at de har støt- og lesider.

IV) *Preglasial karst*

Relikter som har overlevet nedisinger. Typiske eksempler er "avkuttete" grottesystemer som ligger høyt i terrenget og som ikke inneholder formelementer knyttet til glasiiale erosjonsprosesser.

4) *Tropisk karst*

Tropisk klima er karakterisert ved høy temperatur, stor nedbør og stor fordampning. Kraftige regnfall og flommer gjør uthulingene i kalk mye mindre regelmessige og avrundete enn i tempererte områder (Sweeting 1972). Topografisk er tropisk karst karakterisert ved at relieffet er "inverst" i forhold til temperert og arktisk karst. De dominerende formene er ikke lukkede forsenkninger (doliner), men kjegleformede hauger (cockpits). Disse kan tenkes dannet fra tettliggende doliner som gror sammen ved at denudasjonsprosessene aksentueres i bunnen og/eller retarderes i høyereliggende partier. Tropisk karst inndeles i to hovedtyper: *kjeglekarst* og *tårnkarst*, avhengig av form og innbyrdes plassering på de enkelte haugene. På grunn av den store fordampningsraten i tropiske områder, er såkalt "case-hardening" av porøs kalkstein vanlig. Porevannet fordamper og etterlater en tyngre løselig, kompakt sementert hud på overflaten av bergarten. Det er interessant å merke seg at en type kjeglekarst (relativt små former) er beskrevet fra Sverige (Rasmusson, 1957).

5) *Arid og semi-arid karst*

Da vann er et nødvendig reagens og løsningsmiddel for utvikling av karst, er konsekvensen av aride og semi-aride klimatyper (høyt forhold fordampning/avrenning og lite nedbør) at karstformer er lite utviklet. Case-hardening er vanlig. Et godt eksempel er Nullarbor Plain i S. Australia, et arid/semi-arid område på 200 000 km². Området inneholder ingen virkelige daler, bare et grunt, undulerende relieff på 3-6 m amplitude. Kollapsdoliner er få og grotter er sjeldne. Mindre enn 20 store og dype grotter som når ned til grunnvannsspeilet er kjent i hele området. Grunnere grottesystemer er mer vanlige, men både underjordisk og overflate-karsttopografi er sterkt retardert til tross for at området er gammelt (hevet i Miocen) (Jennings, 1967, 1971). Dersom en tar i betraktning det antatte aride eller semi-aride klima i Norge i Tertiær tid

(Gjessing, 1967) er det interessant å se om pre-glasiale grottesystemer (se avsnittet om glasiokarst) som ligger nær den paleiske landoverflaten i Norge, inneholder formelementer eller sedimenter som er karakteristiske for aride klimatyper.

Lignende klassifikasjonssystemer er foreslått av Jennings (1971) og Bøgli (1979). Imidlertid har Jakucs (1977) foreslått et annet system, som tar utgangspunkt i de hydrologiske forholdene i karstsystemet: Han angir to hovedtyper av karst, *autogenetisk* og *allogenetisk* (fig. 4). Selv om Jakucs' bok (1977) er diskutabel og kritisert, har systemet vist seg praktisk til en foreløpig klassifikasjon av norske karstformer. Engh (1977) foreslår å bruke Cvijick's (1893, 1918, 1925) klassiske system (holokarst og merokarst) på karstområder i Sverige. Imidlertid trengs en mer inngående morfometrisk analyse av et større materiale av norske karstformer før et endelig klassifikasjonssystem kan innføres.

Jakucs' system (fig. 4)

Autogenetisk karst er karakterisert ved at hele nedbørfeltet (delfeltet) ligger i kalk. Den hydrologiske konsekvensen av dette er at det utelukkende er kalkområdets eget infiltrasjonsvann som er ansvarlig for korrosjonen. Vannet renner ut av karstområdet. Feltet er karakterisert med et stort antall kilder, mens nedløpsgrotter (swallow holes) ikke finnes. Eventuelle sedimenter i grottesystemene er autoktone dersom de ikke er arvet fra en tidligere topografi eller er tilført ved glasiasjon. Korrosjonsmekanismene er stratifisert i to hovedsoner: a) aktiv infiltrasjonssone, hvor avmetning i karbonat/karbondioksydsystemet foregår, og b) den lentikulære freatiske sone, hvor korrosjonen er betinget av sekundære prosesser, som inhibering, blandingskorrosjon og oksydasjonsprosesser.

Allogenetisk karst. Karstområdet mottar avrenningsvann fra ikke-karbonatmateriale. Hydrologisk sett finnes minst like

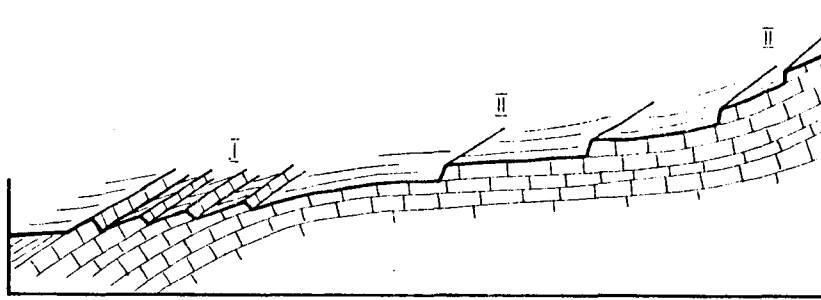


Abb. 3.16. Schichtrippenkarst (I) und Schichttreppenkarst (II)

Fig. 3. Formelementer i glasiokarst; Schichtrippenkarst og Schichttrippenkarst. Etter Bøgli (1978).

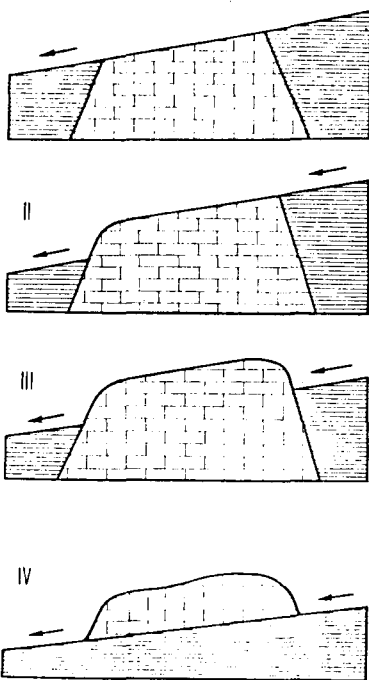


Fig. 65. Schematic diagrams of the possible variants of B-type (allo-genic) karsts

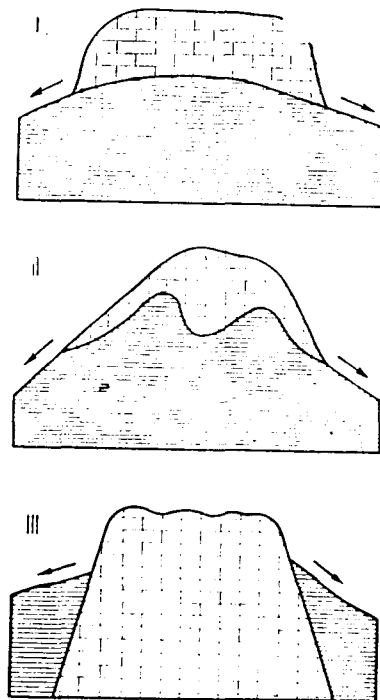


Fig. 61. Schematic diagrams of the possible variants of A-type (authigenic) karsts

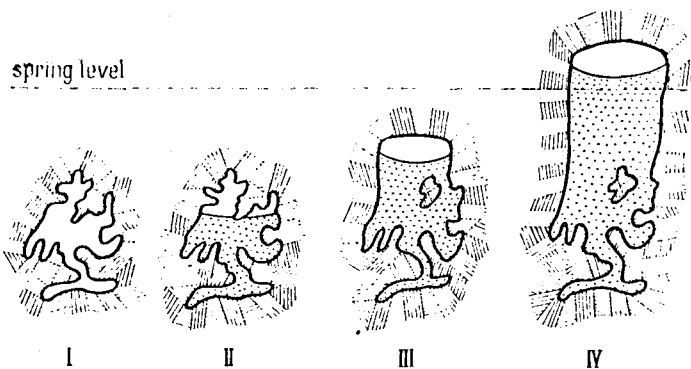


Fig. 78. Upward enlargement by scour of cavern passages in a B-type lenticular zone

Fig. 4. a) Allo- og autogenetisk karst, b) korrosjon i grottetak, oppå sedimentfyllinger. Etter Jakucs (1977).

mange sluk (nedløp) som kilder. Gradienten på de underjordiske løp er ofte stor, og dette sammen med punktvis input av allogetisk vann gir stor lokal erosjonseffekt. Dette har også sammenheng med at inntaksgrotter ofte mottar store mengder klastiske sedimenter, og de fungerer som sedimentasjonsfeller. Morfologisk arter dette seg ved utstrakte sedimentinnfyllinger og ved at korrosjonen i noen tilfelle dirigeres oppover i grottetaket (fig. 4).

1.3. KARSTPROSESSENS MEKANISME OG KINETIKK

Oppløsning av kalkstein

Det prinsipielle reaksjonsskjemaet for oppløsning og utfelling av kalkstein er vist i fig. 5. Prosessen involverer både heterogene og homogene reaksjonstrinn som foregår i 3-fase-systemet luft/vann/kalsiumkarbonat (fig. 6). Det essensielle kjemiske trinnet er en homogen syre-base reaksjon; protoneringen av karbonationet, eller i mindre grad protonering av solvatisert kalsiumkarbonat ionepar (Nakayama 1968). Dette gir henholdsvis bikarbonation, HCO_3^- (aq) og kalsiumbikarbonat kation, CaHCO_3^+ (aq).

Den totale kapasiteten ved termodynamisk likevekt i $\text{CaCO}_3/\text{H}_2\text{O}$ -systemet er direkte avhengig av protontilførselen til systemet. Denne tilførselen foregår hovedsakelig som karbondioksyd, enten fra atmosfæren eller fra biologiske (respirasjons-) prosesser i humus og løsmasser. I mindre grad frigjøres protoner ved ionebyttingsprosesser fra polymere organiske syrer i humus (Likens et al. 1977, Rosenqvist 1977, 1980). Denne prosessen er avhengig av tilførsel av nøytralsalter fra atmosfæren, og mengdene av disse underskrider langt de kalkmengder som utlutes fra vegetasjonsdekkede karstområder. I dette

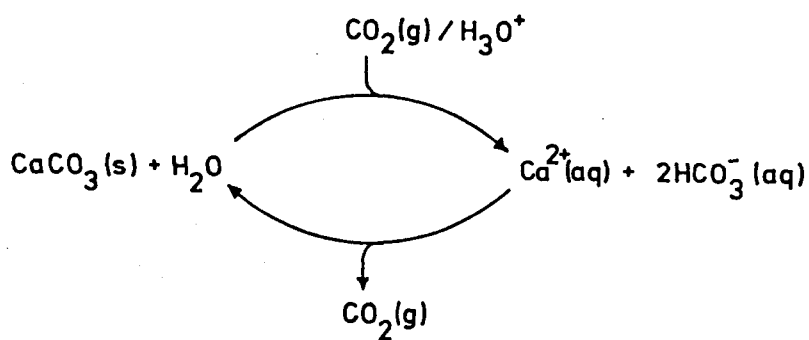


Fig. 5. Oppløsning og utfelling av kalsiumkarbonat i ferskvannsmiljø.

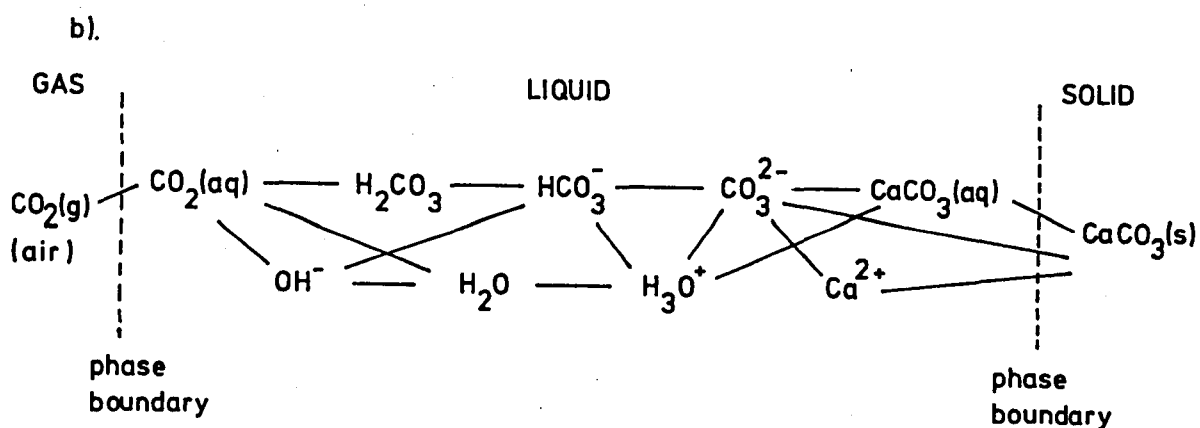
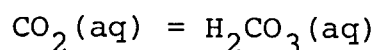


Fig. 6. Faseoverføringsprosesser og mellomprodukter i trefasesystemet $\text{CaCO}_3/\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{CO}_2(\text{g})$. Etter Roques (1961).

siste tilfellet hvor protoner tilføres direkte, unngås den langsomme hydratiseringen av karbondioksyd, og dette kan forandre reaksjonskinetikken i systemet som helhet.

Det hastighetsbestemmende trinn i en reaksjonsrekke er alltid den langsomste prosessen. Dette kan enten være transportprosessen (diffusjon og konveksjon) mellom et nesten mettet overflateskikt og den umettede hovedmengden av vannfasen - eller den totale hastigheten kan være dirigert av et reaksjonstrinn som er langsomt i forhold til transportprosessene. Sammenliknet med andre reaksjonshastigheter, er protonoverføringer forholdsvis raske. Det langsomste kjemiske trinnet i trefasesystemet er sannsynligvis hydratiseringen av karbondioksyd (Kern 1960, Picknett 1976):



Den totale kinetikken i $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{CaCO}_3$ - systemet er også avhengig av metningsgraden, inhiberingsprosesser og hydrologiske faktorer.

Forurensninger i kalkstein og vann påvirker oppløsningskinetikken i systemet. Små mengder, ned mot 10^{-7} M av metallioner som Pb^{2+} , Sc^{3+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Y^{3+} , Zn^{2+} (med avtagende effektivitet) og fosfationer inhiberer reaksjonene sterkt (Erga og Terjesen 1956, Terjesen et al. 1961, Berner and Morse 1974). Dette gjør at en får kinetisk kontroll ved nærmetningskonsentrasjoner og en observerer tilsynelatende "likevekter" istedet for termodynamiske likevekter som skulle korrespondere til P_{CO_2} i løsningen (fig. 7). Konsekvensen av dette er at protoner (aggressivitet overfor kalk) kan transporteres langt inn i et karstsystem før avmetning skjer.

Tidligere undersøkelser antydte at oppløsningsprosessen av kalsitt var enten transportkontrollert (Weyl 1958) eller kontrollert av overflatereaksjoner (Terjesen et al. 1961).

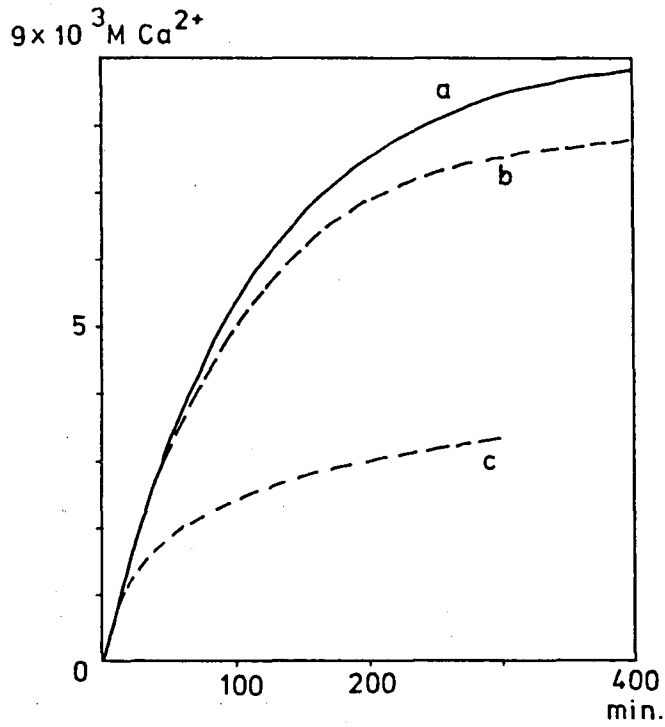


Fig. 7. Effekt av inhibitorer på reaksjonskinetikken mellom kalsiumkarbonat (kalsitt) og karbonsyre. Etter Terjesen et al. (1961).

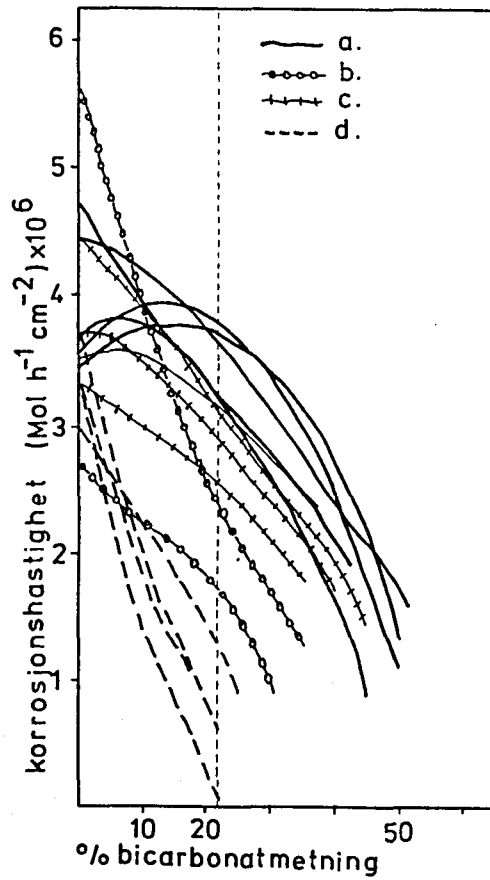


Fig. 8. Korrosjonshastighet som funksjon av bikarbonat-metning for ulike kalksteiner. Etter Rauch and White (1977).

Senere har Curl (1973) og Plummer og Wigley (1976) kombinert begge disse (spesial)tilfellene i modeller som også tar hensyn til strømningsforhold og metningsgrad.

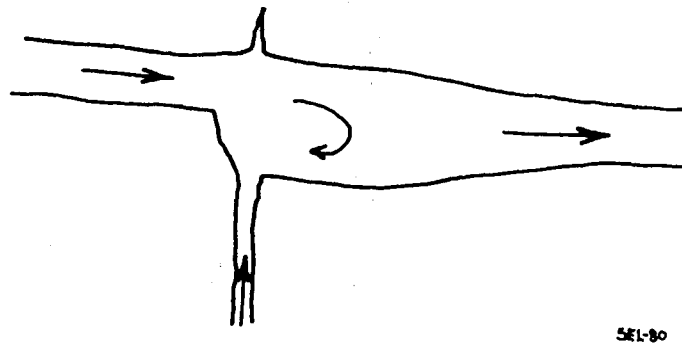
Beregningene viser at hastigheten i kalsittkorrosjonen i naturlige miljøer kan være influert av både transportkontroll og overflate-reaksjonskontroll. Uten inhibering skulle relativt korte tidsrom (noen døgn) være tilstrekkelig til å etablere termodynamisk likevekt. Viktigheten av inhibering i naturlige systemer kan demonstreres ved at til og med 1000 år gammelt grunnvann fremdeles er undermettet med hensyn på kalsitt (Plummer og Wigley 1976).

Da den totale reaksjonshastigheten i $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{CaCO}_3$ -systemet også er en funksjon av metningsgraden, fant Rauch og White (1977) at karbonatbergarter av forskjellig sammensetning og tekstur forandret seg innbyrdes i oppløsningshastighet etterhvert som undermetningen i systemet forandret seg. I de områder av undermetning som ble undersøkt (under 50%), foregikk den mest effektive differensielle korrosjonen mellom de forskjellige bergartslagene ved 22% bikarbonatmetning med hensyn på kalsitt og dolomitt-likevekter (fig. 8). Det er derfor klart at korrosjon av kalkstein ikke bare er avhengig av protontilførselen, men også av de hydrauliske og kjemiske forholdene på de forskjellige steder i kalksteinen etterhvert som vannet beveger seg igjennom karstsystemet.

Andre effekter som er av speleogenetisk betydning -

Blandingskorrosjon (Corrosion par melange des eaux; Mischungskorrosion) (Bøgli 1964, 1978).

Som nevnt, vil aggressivt vann avmettes etter kort tid dersom inhibering ikke finner sted. I trange sprekker (juvenile grotter eller "pre-grotter") er den spesifikke overflaten stor,



SEI-80

Fig. 9. Utvidelse i (freatisk) grottepassasje der hvor to passasjer smelter sammen.

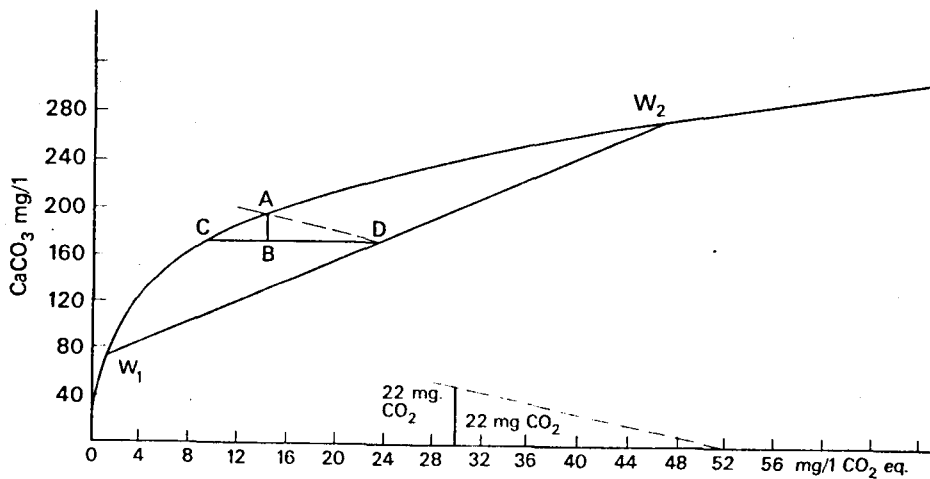


Fig. 59 Mixture corrosion (from Bøgli [90])

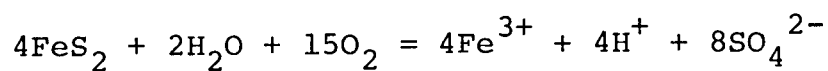
Fig. 10. Blandingskorrosjon, Bøgli (1964). Den krumme kurven representerer likevekt i systemet CaCO₃/H₂O/CO₂ ved samme temperatur, men ved ulike partialtrykk av CO₂. Dersom to vannmengder, W₁ og W₂ (som er ekvibrert ved forskjellige P_{CO2}) blandes, vil blandingsvannet befinne seg på linjen W₁-W₂. Punktet D representerer et bestemt blandingsforhold, CD representerer den mengde CO₂ som blir frigjort ved blandingen. Utsettes dette vannet for CaCO₃, vil vannets sammensetning forandre seg langs linjen AD. AB representerer den nye mengde CaCO₃ som vil oppløses (aggressivitet) før likevekt er nådd.

og etter noen meter vil reaksjonshastigheten være svært liten. Det har derfor vært et problem å forklare den tidlige dannelsen av grotter på stort dyp. Et vanlig morfologisk fenomen er at grottepassasjer har plutselige (og store) utvidelser uten at dette kan korreleres med tilsvarende forandringer i bergarten. Fenomenet skyldes derfor sannsynligvis en lokal økning i korrosjonshastigheten. Spesielt store utvidelser finnes der hvor to eller flere passasjer smelter sammen (fig. 9).

Dersom to vannmasser, som begge er mettet med hensyn på kalsiumkarbonat, men ved forskjellig P_{CO_2} blandes, vil det frigjøres CO_2 og blandingsvannet får ny aggressivitet overfor kalkstein. Dette har sin årsak i at likevektskurven i $CO_2/H_2O/CaCO_3$ - systemet er krum, og ulike blandingsforhold av to vann typer nødvendigvis blir liggende på en rett linje, fig. 10. Fenomenet ble først oppdaget av russiske og tyske vannverksingeniører, men er senere bearbeidet og tilrettelagt for karstproblematikk av Bøgli (1964, 1978). En lignende, men svakere effekt er også funnet ved blanding av vann som har forskjellig magnesiuminnhold (Picknett and Stenner 1978).

Oksydasjonsprosesser

Dersom bergarten inneholder sulfidmineraler (noe som er vanlig i kontaktmetamorfe kalksteiner i Norge) kan disse oksyderes under aerobe forhold og frigjøre protoner:



Denne prosessen er sannsynligvis også årsaken til at enkelte grotter i Norge er rike på gipsutfellinger.

Dessuten vil organiske substanser som er løst i vannet kunne oksyderes i grottesystemer (Bray 1977), og effekten kan være av betydning for grottedannelsen (speleogenesen).

Karstdenudasjon

Denudasjonsraten i et karstsystem (transport av kjemisk løst materiale ut av nedbørfeltet) er lik produktet av midlere årlig avrenning og midlere årlig hardhet i vannet (Smith and Atkinson 1976). Til beregninger av denudasjonen brukes oftest den såkalte modifiserte Corbel's formel:

$$D = \frac{Q \cdot H \cdot n}{10^9 \cdot A \cdot \delta}$$

hvor:

D = denudasjonen i $\text{mm} \cdot 10^{-3} \cdot \text{år}^{-1}$

Q = årlig midlere avrenning

H = årlig midlere total hardhet i ppm CaCO_3

l/n = arealandel kalkstein som brøkdeler av totalarealet

A = arealet av hele nedbørfeltet i km^2

δ = tettheten av kalksteinen

Slike beregninger krever middelveidier over lang tid, ikke bare over hele året, men også fortrinnsvis over et tidsintervall på 30-50 år. Dette er nødvendig for å dekke både sesong- og langtidsvariasjoner. Bruken av hardhetsdata fra korte tidsintervaller er begrenset til å skille mellom typer og responser i karstvann. Tabell 1 viser noen denudasjonsrater fra forskjellige områder, og en skal merke seg at de høye verdiene som Corbel rapporterer fra arktiske og sub-arktiske strøk ofte bygger på enkeltprøver eller svært korte prøvetakingsperioder.

Tabell I. Karstdenudasjon i ulike klimasoner (Bögli 1978).

Lokalitet	Denudasjon mm/1000 år	Årlig nedbør mm
Jamaica	51	2000
Jamaica	54	1800
Puerto Rico	40	1650
Cuba	46	1600
Florida	27	1200
Kentucky, USA	64	1100
Lee, Essex, England	63	700
Malham Tarn, England	58	1100
Areuse, Schweiz	89	1700
Muotatal, Schweiz, under tregrensa	91	2200
Birsigtal, Schweiz	50	1100
Muotatal, Schweiz, alpine områder	71	2400
Spitsbergen	17	280
Svartisen, Norge (Corbel)	100	2000-4000

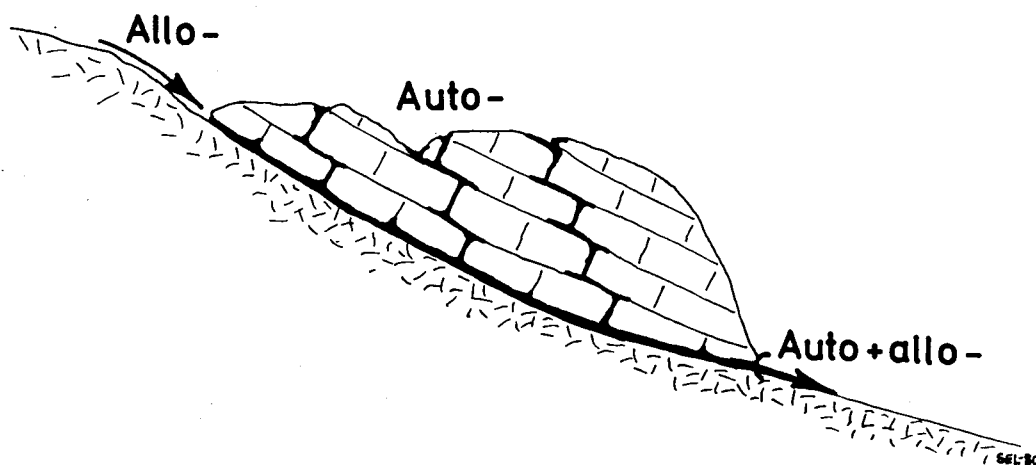


Fig. 11. Allo- og autogenetisk karst vann. Etter Williams (1977).

Det er imidlertid gjort en studie over enkeltprøver av karst vann fra ulike områder i Norge, med størst tyngde på Saltfjell-Svartisen-området (Lauritzen, in prep.). Et totalt antall på 104 vannprøver (juli - august) er vist som histogram i Fig. 12. 8 av disse verdiene er tatt fra andre arbeider (Corbel 1968), de resterende er fra 87 karstkilder og 9 fra grotter, innsjøer og elver i karstområder. Dersom en tar for seg små kilder som kommer fra autogenetiske delfelt, kan kildene inndeles i to signifikant forskjellige grupper, fra over og under tregrensa. Dersom disse vannprøvene plottes i et diagram som også viser metningsgraden, ser en at prøver tatt over tregrensa (bar karst) korrelerer relativt godt til en regresjonslinje som skjærer metningsnivået i ca. 80 ppm CaCO_3 . Dette er svært nær den teoretiske verdien for likevekt i systemet luft/ H_2O / CaCO_3 ved gjennomsnittstemperaturen for kildene (80 ppm; $+6,6^\circ\text{C}$). Prøver fra under tregrensa viser ingen slik korrelasjon og stor spredning i både hardhet og aggressivitet (fig. 13).

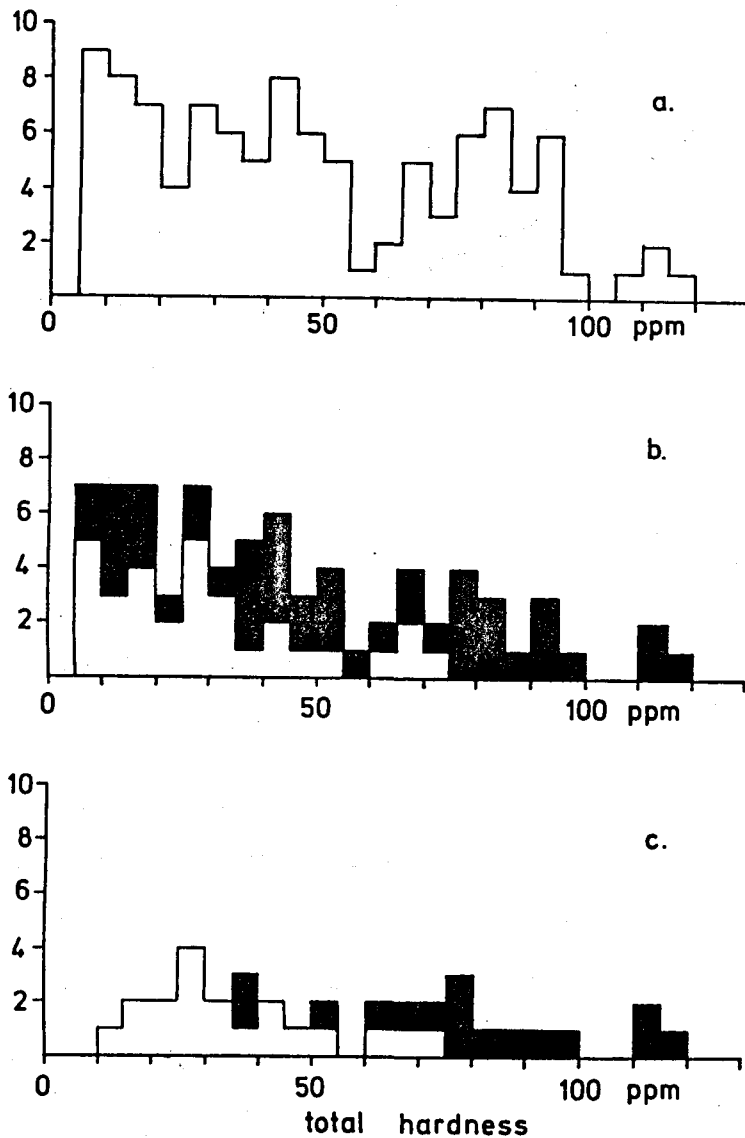


Fig. 12. a) Histogram over totalhardhet ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) i 104 prøver av karst vann fra Norge, tatt i juli/ august. De fleste er fra Saltfjell-Svartisområdet. b) Histogram over vann fra karstkilder. Det er ingen signifikant forskjell mellom prøver tatt over og under tregrensa. c) Vannprøver fra exurgenser ("autogenetiske" kilder). Det er signifikant forskjell mellom kilder med nedbørfelt over og under tregrensa. Etter Lauritzen in prep. Svart: under tregrensa, hvitt: over tregrensa.

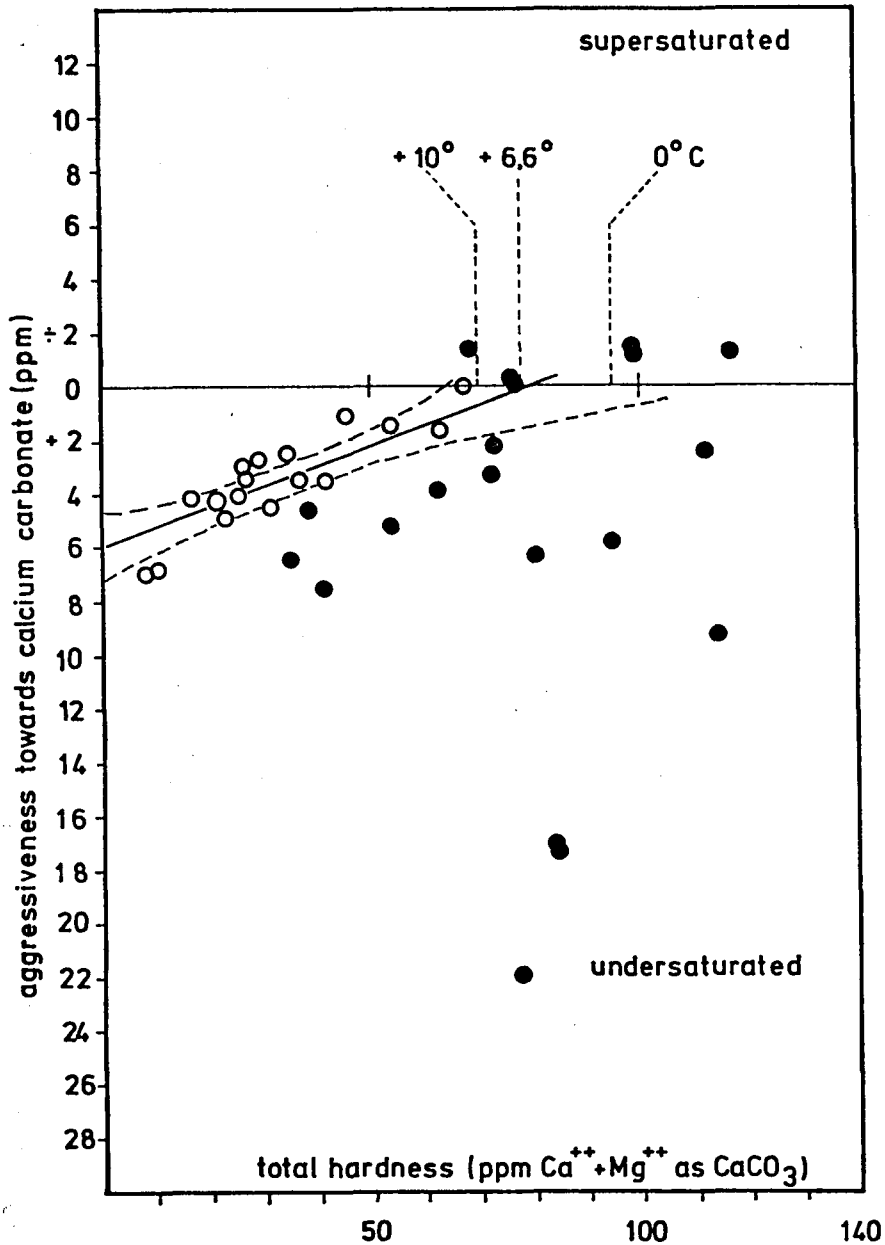


Fig. 13. Aggressivitet som funksjon av total hardhet i exsurgenser, samme utvalg som fig. 12c. Prøver fra over tregrensa korrelerer til en linje som skjærer metningsnivået i punktet 80 ppm CaCO₃, som er svært nær den teoretiske verdien for likevekt i systemet CaCO₃/H₂O/luft ved gjennomsnittstemperaturen for alle prøvene (+6,6°C). Korrosjon over tregrensa kan forklares ved luftas PCO₂. Under tregrensa må det komme et tillegg av biogen CO₂ og protoner. Etter Lauritzen in prep.

Det er videre verdt å merke seg at få prøver er i likevekt med CaCO_3 , de er enten undermettet eller overmettet. Bare prøver fra under tregrensa viser overmetning. Disse resultatene viser at kalkkorrosjonen over tregrensa kan forklares ved luftas P_{CO_2} , mens under tregrensa kommer et varierende tilskudd av biogene protoner, som biogen CO_2 og som protoner eluert fra polymere organiske syrer i humus. Disse resultatene er i overensstemmelse med tilsvarende arbeider i Canada (Ford 1971), fig. 14.

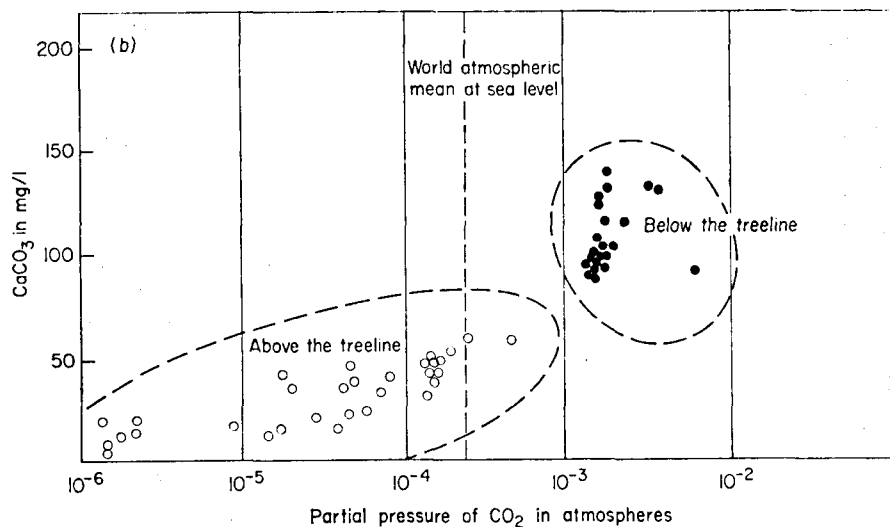


Fig. 14. Hardhet på karst vann og det P_{CO_2} de teoretisk er i likevekt med. Prøver fra Rocky Mountains, Canada, etter Ford (1971).

1.4. KARSTMORFOLOGI

Overflateformer

Dolinetyper. Doliner er lukkede forsengkninger av moderate dimensjoner. De er fra 1-100 m dype og fra 2-1000 m i diameter. Tettheten kan variere betraktelig, f.eks. i Montenegro utgjør doliner 64% av landarealet. Doliner kan inndeles i 4 hovedtyper:

Oppløsningsdoliner

Disse formene er dannet ved oppløsning langs sprekker i bergarten og det er karakteristisk for vertikalsnitt igjennom slike doliner at det ikke forekommer nevneverdig dislokasjon i kalksteinen. Forsenkningen er en konsekvens av at oppløsningsrestene tar mindre plass enn den opprinnelige oppsprukne bergarten. Oppløsningsdoliner har ofte avrundete og forholdsvis regelmessige former, de er relativt grunne. Deres langakser og innbyrdes plassering er ofte dirigert av strøk og sprekkretninger i bergarten. Doliner ligger ofte på linje i landskapet.

Kollaps- eller subsidensdoliner (sammenstyrtningsdoliner)

Dannet ved innstyrtning av huletak. Formen er uregelmessig, sprekkdirigert og de er relativt dype med bratte sider. Bunnen utgjøres av grovt, kantete rasmateriale, og de står ofte i direkte forbindelse med grottesystemer.

Sprekkdoliner (Helldén 1974)

Denne formen som er foreslått som en ny morfologisk type av Helldén basert på studier i Sverige, er en variant av termen "grikes", som er dype sprekker i karrenfelder på bar karst. I Skandinavia og i alpine strøk er sprekkutvidelsene så markante at termen kan rettferdiggjøres. Sprekkdoliner er opprinnelige sprekker eller bunter av sprekker som er utvidet ved oppløsning. De er mye dypere enn bredden, og oftest langstrakte i omriss. De fører direkte ned i det underjordiske dreneringssystemet.

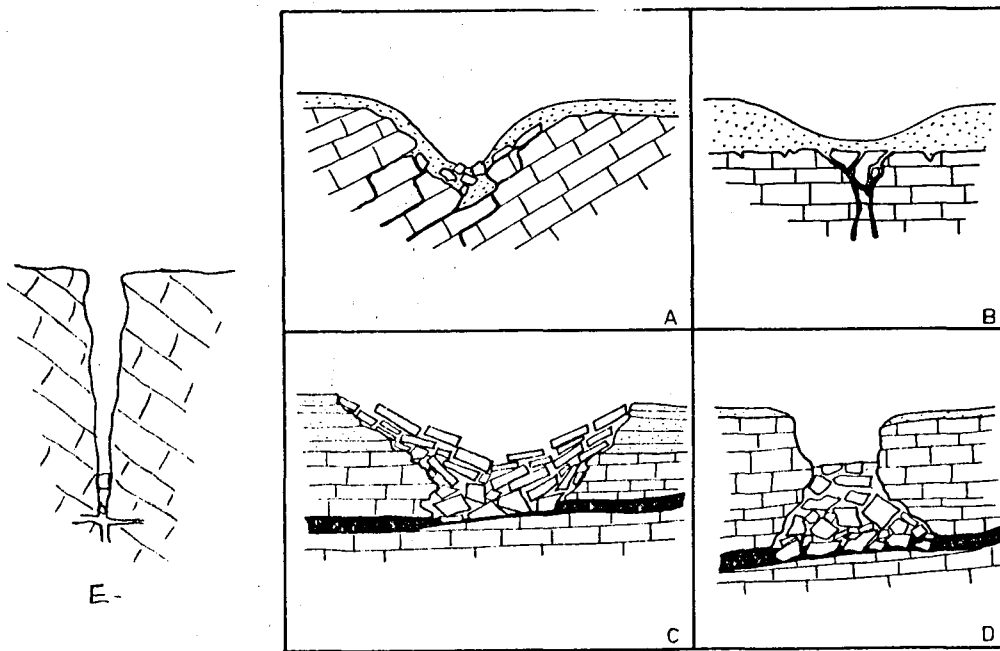


Abb. 3.9. Lösungsdoline (A), Alluvialdoline (B), Subsidenzdoline (C), Einsturzdoline (D)

Fig. 15. Dolinetyper, etter Bøgli (1978). Her er type C og D slått sammen til en (kollapsdoline). I tillegg er det satt opp en ny form, sprekkdoline, E; etter Hellden (1974).

Alluvialdoliner (løsmassedoliner)

Formen dannes der hvor kalksteinen er overdekket av løsmasser. De er kjegleformede innstrytninger (subsideniskonus), og sidene har ofte rasvinkel. Avhengig av løsmassenes beskaffenhet har slike doliner ofte regelmessig form. Den underliggende formen kan være en av de 3 foregående. I områder som inneholder glasiofluviale sedimenter, kan alluvialdoliner forveksles med dødisgroper, og det er behov for morfometriske kriterier til å skille disse to formtypene fra hverandre. I de fleste tilfeller kan denne dolinetyper identifiseres ved at berggrunnen inneholder kalk, og at andre karstformer finnes i nær tilknytning til forsenkningen.

Disse 4 hovedtypene er vist skjematisk i fig. 15.

En femte form som finnes i utbyggingsområdet er *snødoliner*. Der hvor de klimatiske betingelser ligger til rette, fungerer dolinene som permanente fonneleier, og nivasjonsprosesser akselererer korrosjonen.

Sammengrodde doliner kalles *uvala*. Andre typer av lukkede forsengkninger er *cenoter*, som er brønnliknende sjakter som fører ned til grunnvannspeilet. Termen "*karst-vindu*" refererer seg til doliner hvor en grotte-elv renner synlig i bunnen.

Poljer

Poljer er de største formene av lukkede forsengkninger i karstlandskaper, de har flat bunn av løsmasser og har en utstrekning på opptil flere hundre kvadratkilometer. Poljenes dannelse er diskutert, men de regnes dannet ved lateral korrosjon i områder hvor løsmasser transporteres inn på et kalkområde. Avleiringene isolerer underlaget mot korrosjon. Poljer har kilder langs kantene, og karst vann renner over løsmassene og forsvinner i sluk (ponorer) langs andre kanter. I flomperioder kan poljene oversvømmes, og de utgjør ofte de eneste dyrkbare områder i karstlandskaper.

Dalsystemer i karst

Fluviokarst er karakterisert ved dalsystemer. Dalene kan være permanent eller periodevis tørre. Dalene ender ofte blindt, og kan fortsette som lineasjoner av doliner innover på plataene. En skiller mellom *blinde daler* (inntaksdaler), som er blinde nedstrøms, og *sekkdaler* (utløpsdaler) som ender blindt i oppstrøms retning, fig. 16. *Allogenetiske daler* er canyon-liknende dalsystemer som fører vann tvers over eller langt inn i kalkområder.

Abb. 3.15. Blindtal (B), Sacktal (S) und zugehörige Trockentäler (gestrichelt)

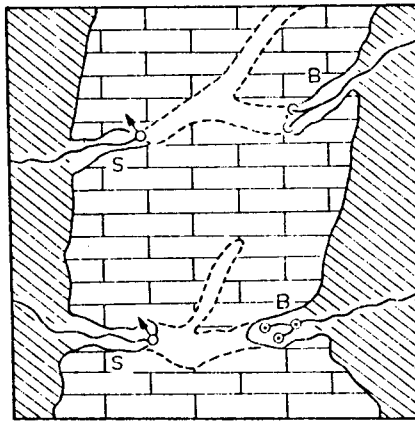


Fig. 16. Dalsystemer i (fluvio)karst. Etter Bøgli (1978).

Karstkilder

Karstkilder kan være permanent eller periodevis vannførende. Trombe (1952) inndeler karstkilder i to hovedtyper:

Eksurgenser, som bare fører (autogenetisk) infiltrasjonsvann, og *resurgenser* som vesentlig fører allogetisk vann som tidligere har forsvunnet ned i sluk i karstens randsoner. Eksurgenser viser minst variasjon i vannføring, temperatur og hardhet.

Småformer, karrentyper

Renneformede korrosjonsformer i kalkstein kalles *karren* eller *kanneleringer*. Bøgli (1960) gir en god oversikt over et morfogenetisk inndelingssystem av karren. De inndeles i frie, halvfrie og dekkede karren; dette refererer seg til om kalken er dekket av humus og løsmasse eller ikke. Frie karrentyper har skarpe kanter og har relativt smale renner. Halvfrie karren utgjøres av runde gryter som enten inneholder jord eller alger. Dekkede karren er dannet under humusdekke, formene er avrundete og relativt store. Respirasjonsprosesser i humus produserer biogene protoner (CO_2 eller syrer) som aksellererer korrosjonen lokalt. Ulike karrentyper er vist på fotografier under de enkelte områdebeskrivelsene.

Grottemorfologi

Hydrologiske soner i karstsystemer

Etterhvert som sprekkutvidelsen utvikles i en karstbergart, og sprekkesystemene utgjør et mer eller mindre kommuniserende hele, vil det danne seg et grunnvannspeil eller piezometrisk overflate i karstsystemet. Høyden på denne overflaten er bestemt av erosjonsbasis (Vorfluter) ved kanten av karstsystemet, dette er ofte kildenivået. Krumningen på den piezometriske overflaten bestemmes av lokale faktorer, som sprekkesystemenes permeabilitet og vannføringen. Overflaten av grunnvannet representerer et lokalt *erosjonsbasis* inne i karsten, men korrosjon kan foregå og foregår på dypet (Thrailkill 1968).

Den totalt vannfylte sonen, hvor vannet beveges under trykk, drevet av hydrauliske gradienter i den piezometriske overflaten, kalles den *freatiske sone*. Ned mot den piezometriske overflaten renner vannet i delvis luftfylte hulrom, drevet av tyngdekraften. Denne luftfylte sonen kalles den *vadose sone*. Ved varierende vannføring i karsten kan den piezometriske overflaten stige eller synke, og dette området med fluktuerende grunnvannspeil kalles *parafreas*. Man ble tidlig klar over at disse hydrologiske forskjellene i karstsystemet resulterer i morfologiske forskjeller i grottene (Bretz 1942). De fleste formelementer i grotter refereres til en eller flere av disse sonene, fig. 17.

I den freatiske sone beveger vannet seg under trykk, og korrosjonen kan virke like godt i taket som langs gulvet. Dette resulterer i symmetriske tverrprofiler på grottegangene. Disse såkalte trykkledninger eller freatiske rør har oftest et sirkelrundt eller elliptisk tverrsnitt, samtidig som de ikke nødvendigvis følger noe bestemt fall. De kan snart gå oppover, snart nedover. Det er videre karakteristisk for

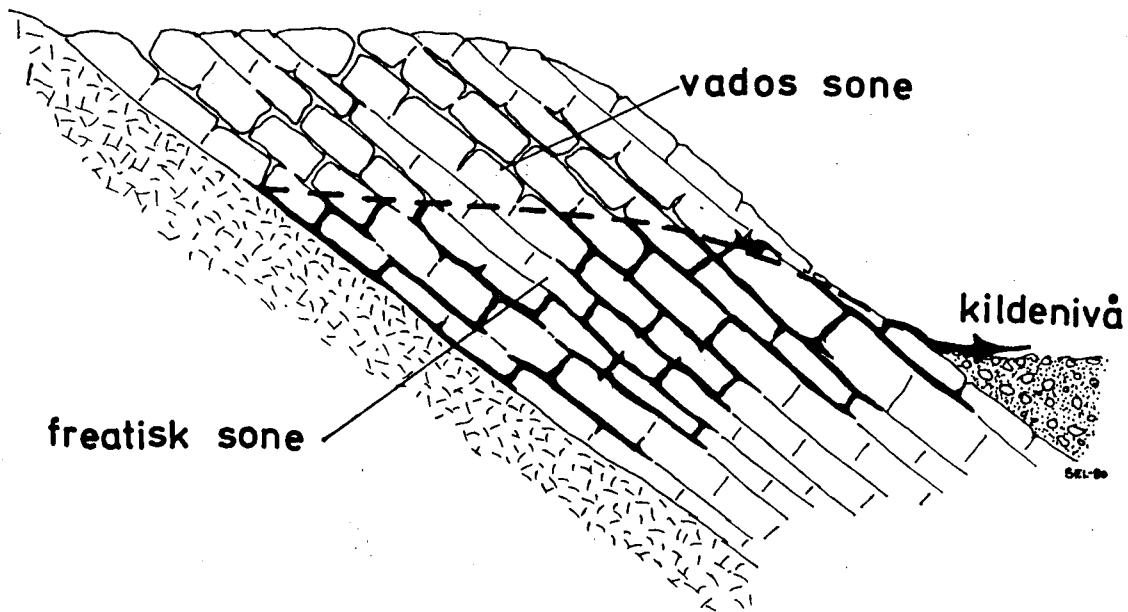


Fig. 17. Vados og freatisk sone i karstsystem.

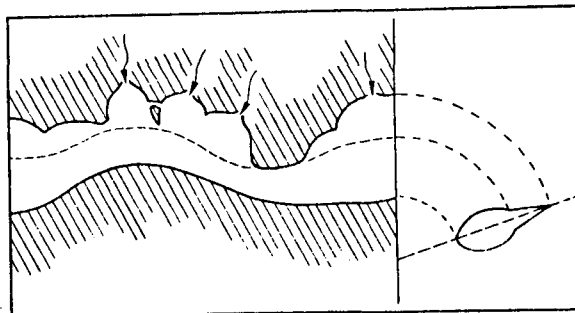


Fig. 18. Korrosjonslommer er typiske i freatiske passasjer. Etter Bøgli (1978).

freatiske former at de har korrosjonsformer i taket; såkalte korrosjonslommer er dannet ved blandingskorrosjon der hvor spalter munner ut i taket på trykkledninger, fig. 18.

Vadose former har en vertikal retningskomponent som dominerer bildet. Loddrette sjakter, høye, smale passasjer, nedskårrede canyoner og jettegryter er typisk. I velutviklede grotter vil overgangssonene mellom vadose og freatiske former ligge på linjer som representerer tidligere piezometriske overflater.

Det er vanlig å finne sammensatte former, f.eks. ved at en tidligere (freatisk) trykkledningspassasje blir tørrlagt, og en bekk i neste omgang graver en (vados) canyon i bunnen av dette profilet. Dette resulterer i såkalte "nøkkelhullprofiler" som er svært vanlige, fig. 19.

Grottedannelse (speleogenese)

Grotter er spesielt vanlige i fluviokarst, og Sweeting (1972) sier at grottetettheten er et mål på fluvial påvirkning i et karstområde.

I porøse bergarter hemmes speleogenesen - de "beste" grotteførende bergarter er tette, krystallinske kalksteiner med velutviklede sprekkesystemer. Marmorert, som er den hovedsakelige grotteførende kalkstein i Norge, er blant de minst primærporøse kalksteiner, og infiltrasjonen vil derfor være konsentrert på sekundærpermeabilitetene. Grotter utvikles ved utvidelse av sekundære permeabilitetsplan og -linjer i bergarten. Disse planene er oftest sprekker, benke/foliasjonsplan, forkastninger eller skjæringslinjer mellom dem, fig. 20.

De fleste spalter er til å begynne med mikroskopisk tynne, og kapillarkrefter vil dominere over eventuelle hydrauliske gradienter. Blandingskorrosjon og inhibering er sannsynligvis av stor betydning i denne første fasen av sprekkutvidelse. Etterhvert som permeabiliteten øker, vil hydrauliske gradienter få større og større betydning. Det dannes til å begynne med et diffust, forgrenet system av trange kanaler, hvor strømningsretningen ikke er entydig bestemt, såkalte *anastomoser*, fig. 21. Disse formene regnes for pre-grotte stadier inntil kanaltverrsnittet overskrider en diameter på 5-15 mm, da vannbevegelsen også kan være turbulent (Ford 1977b).

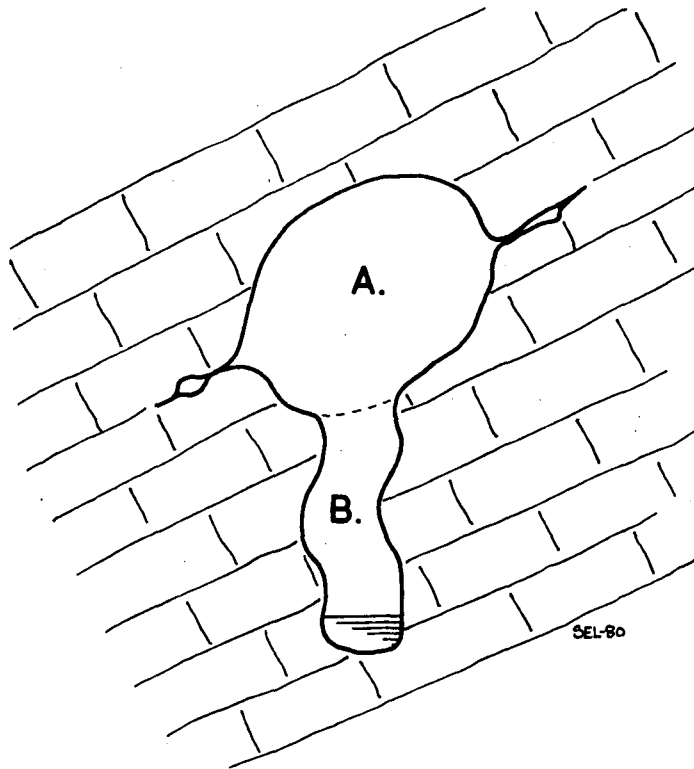


Fig. 19. Nøkkelhullprofil i tilnærmet homogen kalkstein. A. (Freatisk) trykkledning. B. (Vados) canyon.

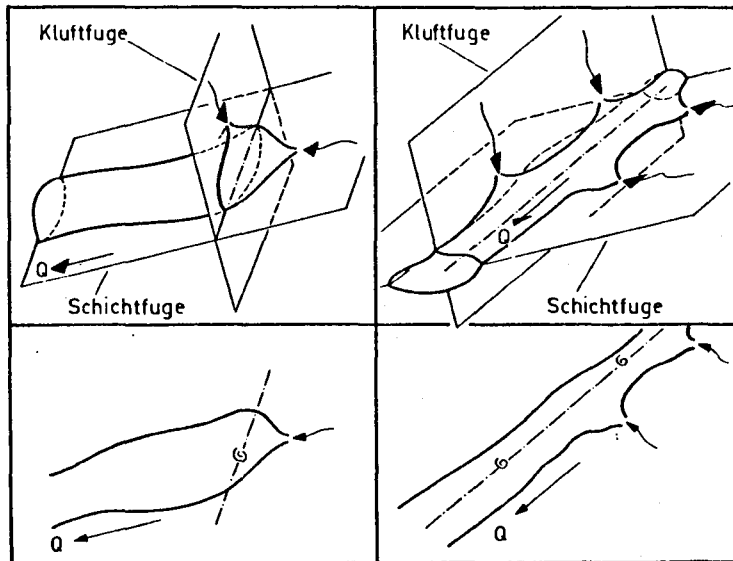
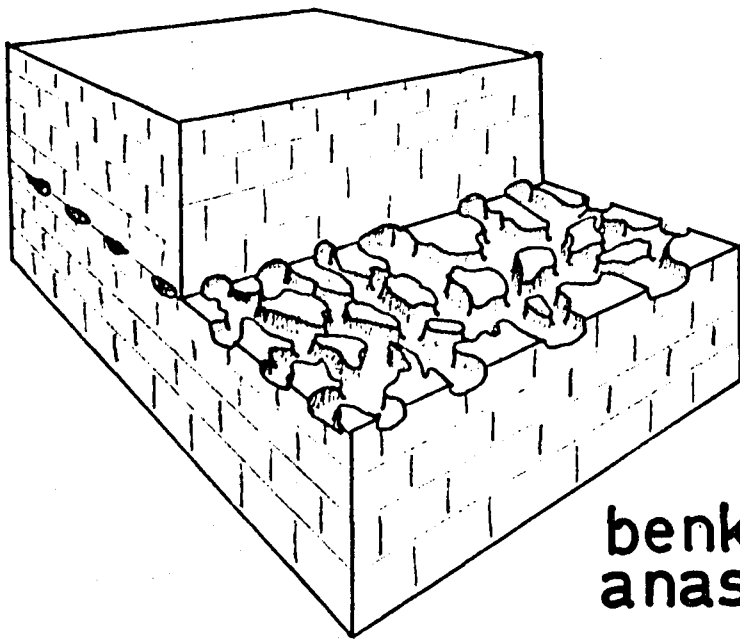


Fig. 20. Grottepassasjer utvikles langs sekundær-permeabilitetsplan eller langs skjæringslinjer mellom dem. Etter Bøgli (1978).



**benkeplan -
anastomoser.**

Fig. 21. Anastomoser langs benke- eller sprekkeplan er tidlige stadier i speleogenesen.

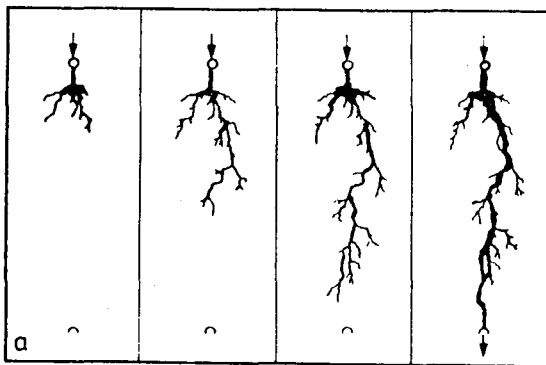


Abb. 14.8 a,b. Entwicklung der Wasserwege nach Ewers (1972, Abb. 6 und 12). a Entwicklung bis zum Beginn der Phase 2; b Ausschnitte aus der Weiterentwicklung in der Phase 2

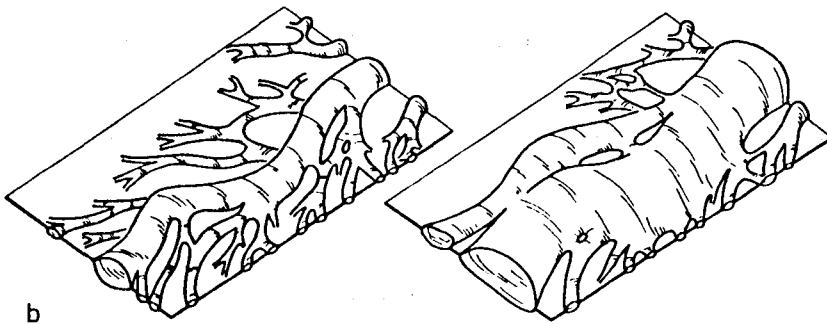


Fig. 22. Dannelse og utvidelse av anastomoser.

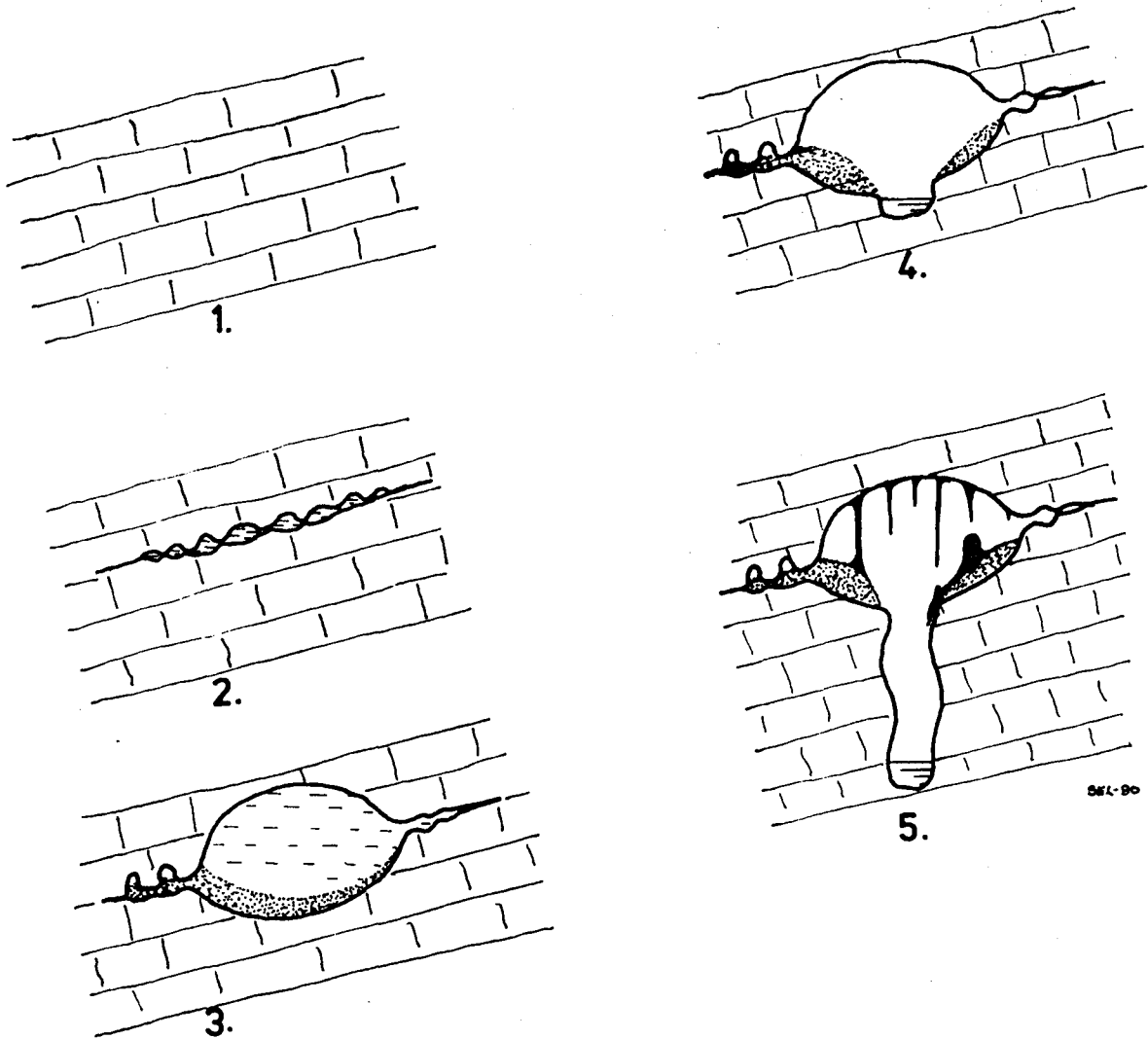


Fig. 23. Utvikling av grottepassasje.

1. Homogen kalkstein med sekundærpermeabilitet langs benkeplan.
2. Dannelse av anastomoser langs ett benkeplan.
3. En eller få kanaler utvides på bekostning av de andre. Etterhvert som passasjen utvides, kan sediment akkumuleres langs gulvet.
4. Erosjonsbasis eller Vorfluter synker, og en bekk begynner å renne langs gulvet.
5. "Moden" situasjon. Canyonen er fordypet videre, og dryppsteiner (speleotemer) dannes i den fossile passasjen.

En må forutsette at korrosjonshastigheten på de enkelte steder øker med vannføringen. De anastomosene som ligger langs den største hydrauliske gradient mot utløpet (kildenivået) vil få størst gjennomstrømning og utvides raskest (fig. 22). Er slike veier først etablert vil de aksentuere seg selv og speleogenesen fortsetter mot dannelselse av store trykkledningsprofiler. Dersom passasjetverrsnittet blir for stort for vannføringen, vil passasjen etterhvert få en luftlomme mot taket, og resten av utvidelsen vil foregå vadost. Utviklingen av et nøkkelhullprofil fra sprekke/benkeplan er vist i fig. 23.

Litovariansens innflytelse på speleogenesen

a) Stratigrafiske faktorer

Bergartens fysiske og kjemiske sammensetning påvirker speleogenesen. Det er rimelig å tenke seg at benking (og foliasjon) dolomittinnhold, tungmetallinnhold (inhibitorer), silikatinnhold og tekstur gir materialer som oppløses med ulik hastighet under like betingelser. De ideelle vadose og freatiske formelementer som er nevnt tidligere kan undertrykkes i vesentlig grad i urene kalksteiner. Mange grotteprofiler uttrykker differensiell korrosjon, fig. 24.

Grottetetthet er i mange tilfelle stratigrafisk kontrollert, slik f.eks. Horn (1947) også bemerker at mange norske grotter synes å være knyttet til bestemte horisonter i kalken.

Biohermer (revkalker) representerer "lommer" av renere kalk dersom omgivelsene er skiferrike, og speleogenesen dirigeres også av slike strukturer. Eksempler finnes i Oslo-feltet (Lauritzen in prep.).

b) Sprekkesystemer

Oppsprekningen er ofte av fundamental betydning for speleogenesen og grottepassasjens endelige forløp. Labyrint- og nettverksgrotter er eksempler på passasjer som er dirigert av

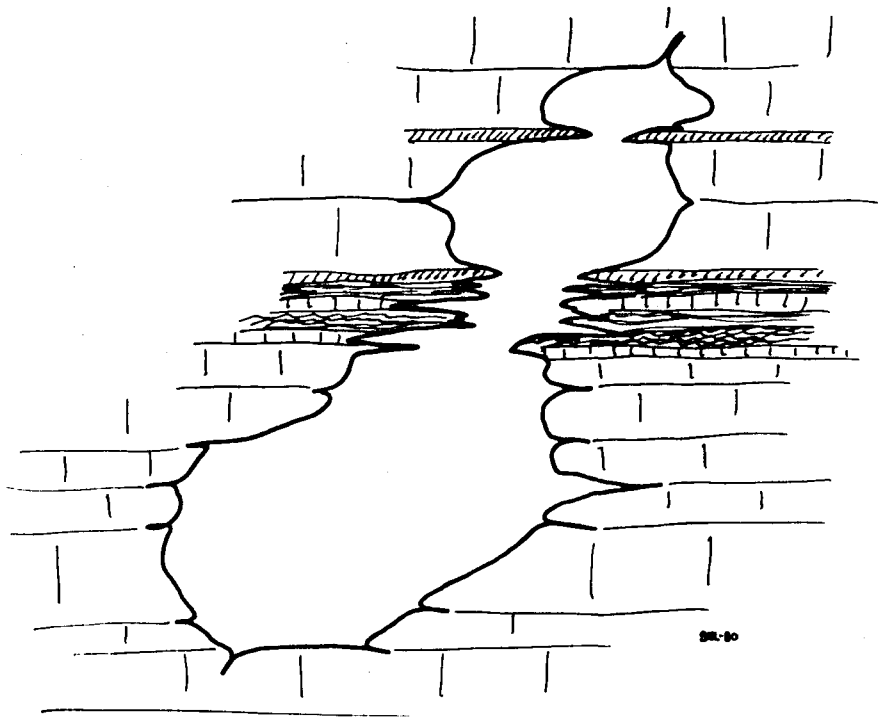


Fig. 24. Tverrprofil av grottepassasje utviklet i inhomogen bergart (Differensiell korrosjon).

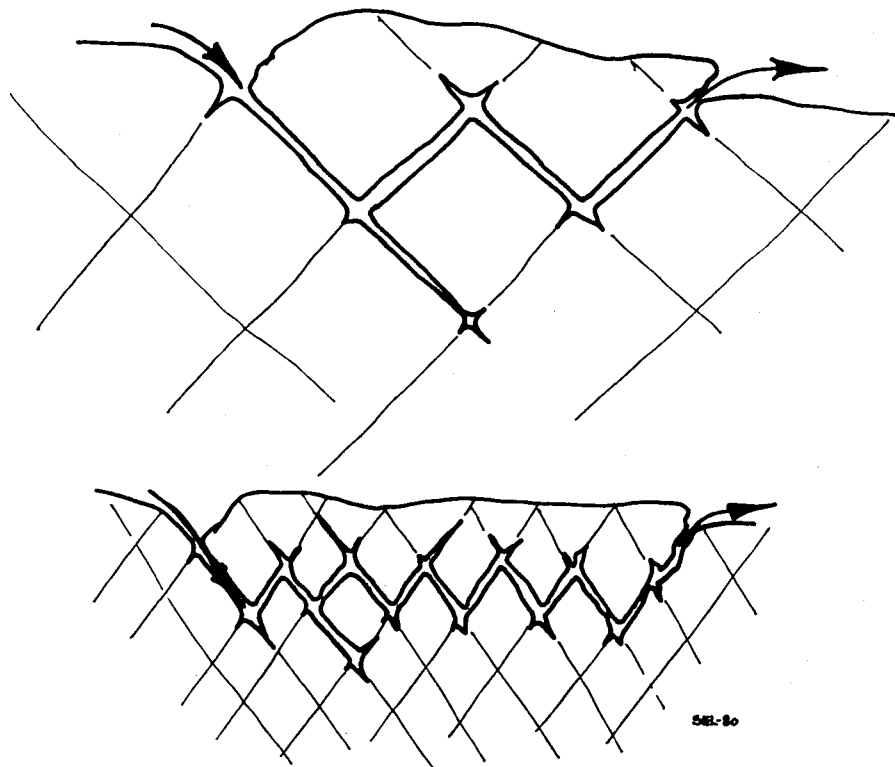


Fig. 25. Sprekkes tetthet og dybde på freatiske sløyfer.

to eller flere kryssende sprekkretninger. Stor sprekketetthet gir grottene et forholdsvis direkte forløp mellom sluk og kilde, ofte langs eller tett oppunder den piezometriske overflaten. Liten sprekketetthet derimot gir ofte grottepassasjer som går i dype slynger (freatiske sløyfer), fig. 25. Da grottepassasjer utvikles fra sprekker, gir sprekkesystemenes alder, dersom de kan dateres, en maksimumsverdi for speleogenesens begynnelse.

Hydrauliske og geomorfologiske faktorer

a) Hydrauliske faktorer

Vadose canyoner utvikler oftest et slyngete eller meandrerende forløp, fig. 26. Disse slyngene faseforskyves i nedstrøms retning etterhvert som canyonen fordypes. Grottecanyoner viser mange likhetspunkter med supraglasiale smeltevannsløp.

Et av de viktigste hydraulisk betingede formelementer i grotter er de såkalte "scallops" eller "flutes", som er å oppfatte som strømrifler i fast fjell. Scallops eller flutes dannes der hvor et løsningsmiddel (eller gass) beveger seg turbulent over en løselig (eller flyktig) fast fase. Et scalloppprofil er vist i fig. 27. Fenomenet er simulert i laboratoriet under kontrollerte betingelser (Curl 1966, Blumberg and Curl 1974, Goodchild and Ford 1971). Både bølgelengde og symmetri er hydraulisk kontrollert, og dette gjør scallops til uvurderlige hjelpemidler i speleogentiske tolkinger. Den bratteste siden utvikles alltid i lesiden i forhold til strømretningen. Videre er bølgelengden omvendt proporsjonal med vannhastigheten, fig. 27b. Godt utviklede scallops definerer derfor både vannføring og -retning under den siste vannfylte korrosjonsfase i grottepassasjens utviklingshistorie. For mer kompliserte situasjoner er det utviklet en statistisk metode til å retningsbestemme et større antall scallops (Lauritzen 1981).

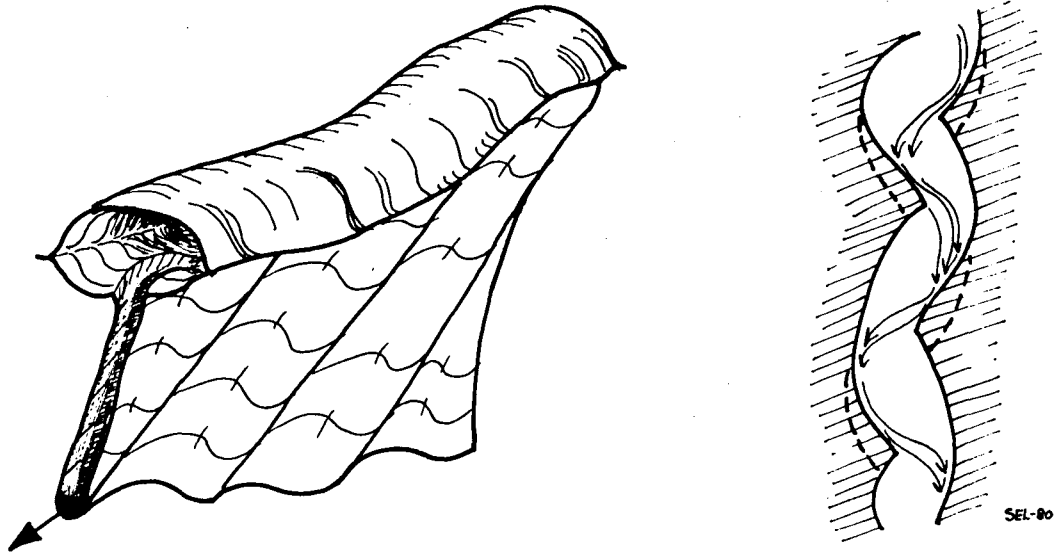


Fig. 26. Meander-utvikling i vados canyon. Slyngningene faseforskyves i nedstrøms retning etterhvert som canyonen fordypes.

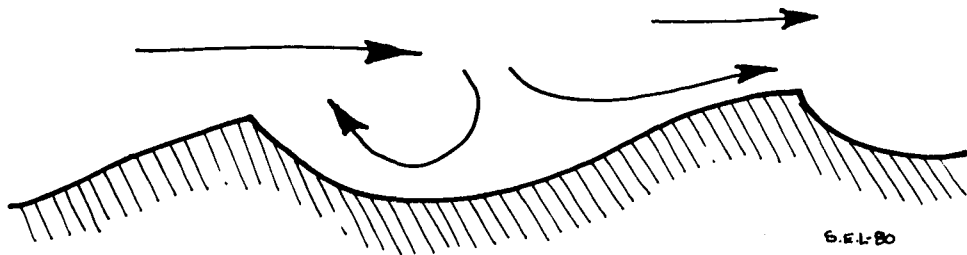


Fig. 27. Væskebevegelse rundt et scallopprofil.

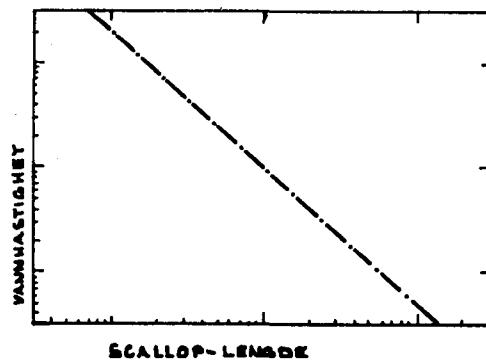


Fig. 27b. Sammenheng mellom vannhastighet og midlere bølgelengde på scallops.

b) Geomorfologiske faktorer

I et velutviklet karstsystem hvor det er god kommunikasjon mellom de ulike kaviteter, er den piezometriske overflaten bestemt av kildenivået ("Vorfluter", eller det ytre erosjonsbasis). Dette nivået er oftest bestemt av ikke-karstprosesser, og det senkes uavhengig av karstutviklingen. Senkingen kan f.eks. foregå ved fluvial eller glacial dalerosjon. Dersom erosjonsbasis blir liggende stille i lengre tid, vil også den piezometriske overflaten inne i karstsystemet være forholdsvis stabil, og vadose/freatiske formelementer vil innstille seg deretter. Dersom disse kan finnes igjen senere, kan de altså korreleres med tidligere stadier i landskapsutviklingen utenfor karstsystemet. Dersom slike korrelasjoner skal være pålitelige, må grundige strukturanalyser gjøres, for å eliminere eventuell dirigering fra andre faktorer enn de geomorfologiske.

c) Sedimentinnfyllinger - paragenese

Grotter fungerer som sedimentasjonsfeller og mange grottepassasjer er fylt til taket med sedimenter. Dersom en slik grottepassasje fylles opp, og det fremdeles blir stående en hydraulisk gradient over systemet, må vannbevegelsen nødvendigvis gå langs taket. Dette skjer under forutsetning av at vannføringen overskrider sedimentets permeabilitet. Vannbevegelse langs taket kan foregå på to ulike måter, enten som små anastomoserende, eller som enkelte større kanaler. I begge tilfelle vil korrosjonen kunne fortsette i taket, og et anastomoserende eller meandrerende kanalsystem oppstår i kalken. Resultatet kalles pendants, respektive halvør. Prosessen kalles paragenese (Renault 1968). Dannelsesmekanismen ble først foreslått av Bretz (1942), og formene lar seg simulere på gipsmodeller i laboratoriet (Lauritzen in prep.). Pendantgenese er vist i fig. 28.

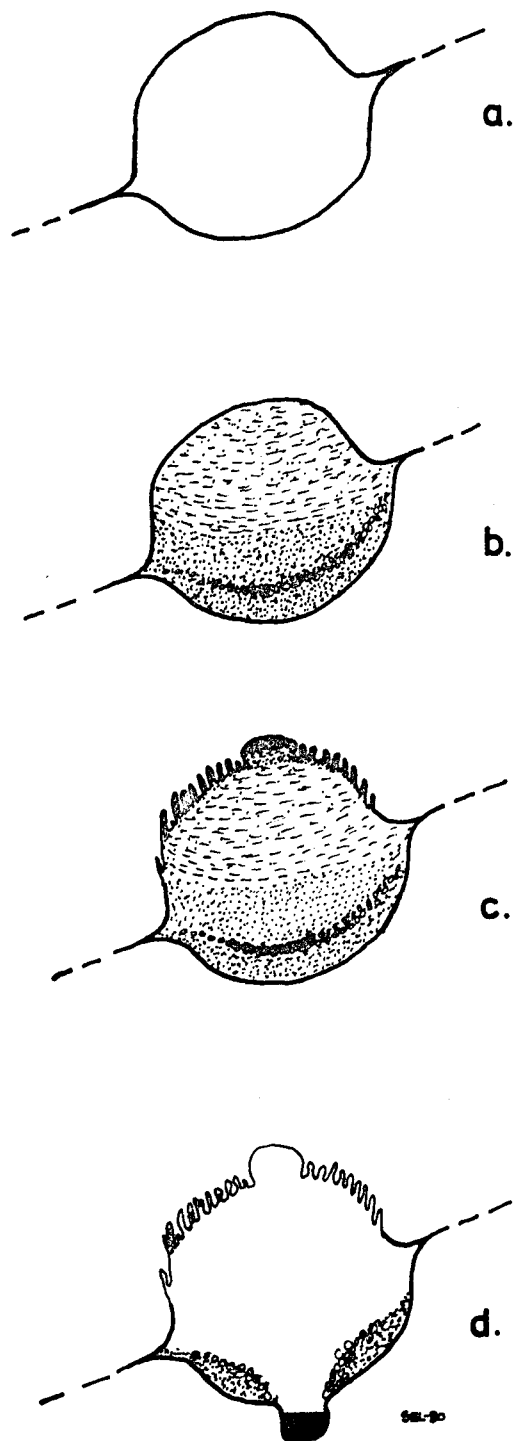


Fig. 28. Dannelse av penderter og halvør (paragenese).
a) Trykkledningsprofil, normalt utviklet.
b) Profilet fylles opp til taket med sediment. Den vannføringen som overskrider porekapasiteten i sedimentet konsentreres langs taket. Det dannes enten et nettverk av anastomoserende kanaler eller enkelt-kanaler.
c) Korrosjonen foregår oppover i taket, og hulrommene etterfylles med sediment etterhvert som de enkelte kanalene utvides.
d) Ved en senere hendelse spyles eller transporteres sedimentinnfyllingen vekk, og passasjen blir tilgjengelig.

Klassifikasjon av grotter

Warwick (1976) klassifiserer karsthuler i inntaksgrotter, isolerte grotter, utløpsgrotter og gjennomløpsgrotter.

Inntaksgrotter (nedløpsgrotter, influente grotter) mottar eller har mottatt vann som forsvinner under jorda, og er ofte plassert i enden eller langs blinde daler.

Isolerte grotter er grotter som har liten funksjonell forbindelse med overflaten.

Utløpsgrotter (kildegrotter, effluente grotter) fungerer eller har fungert som kilde. De ligger ofte i karstens grenseområde, i brattkanter eller i og langs sekkdaler.

Gjennomløpsgrotter (Through caves) er grotter som kan følges fra nedløp til kilde. De er relativt sjeldne, og eksisterer i sin enkleste form som naturlige bruer og tunnelgrotter.

Disse kategoriene kan videre inndeles i om de er tørrlagte fra det vannet som dannet dem (fossile grotter) eller om den speleogenetiske prosessen pågår i dag (aktive grotter).

Dessuten relateres de ofte til om de er utviklet i den vadose og/eller den freatiske sonen. En bruker gjerne termen essensielt vados/freatisk.

Ford (1977b) foreslår en morfogenetisk klassifikasjon som relaterer grottene til en syklus, fig. 29.

Ford's speleogenetiske modell fra Mendip Hills, England

Denne modellen relaterer vadose og freatiske formelementer til den piezometriske overflaten inne i karstsystemet og til det eksternt betingete erosjonsbasis, fig. 30. En slik modell er bekreftet fra andre områder, f.eks. Hölloch i Sveits (Bøgli 1978). Modellen fungerer best der hvor bergarten har steilt fall, slik at ikke stratigrafiske faktorer påvirker

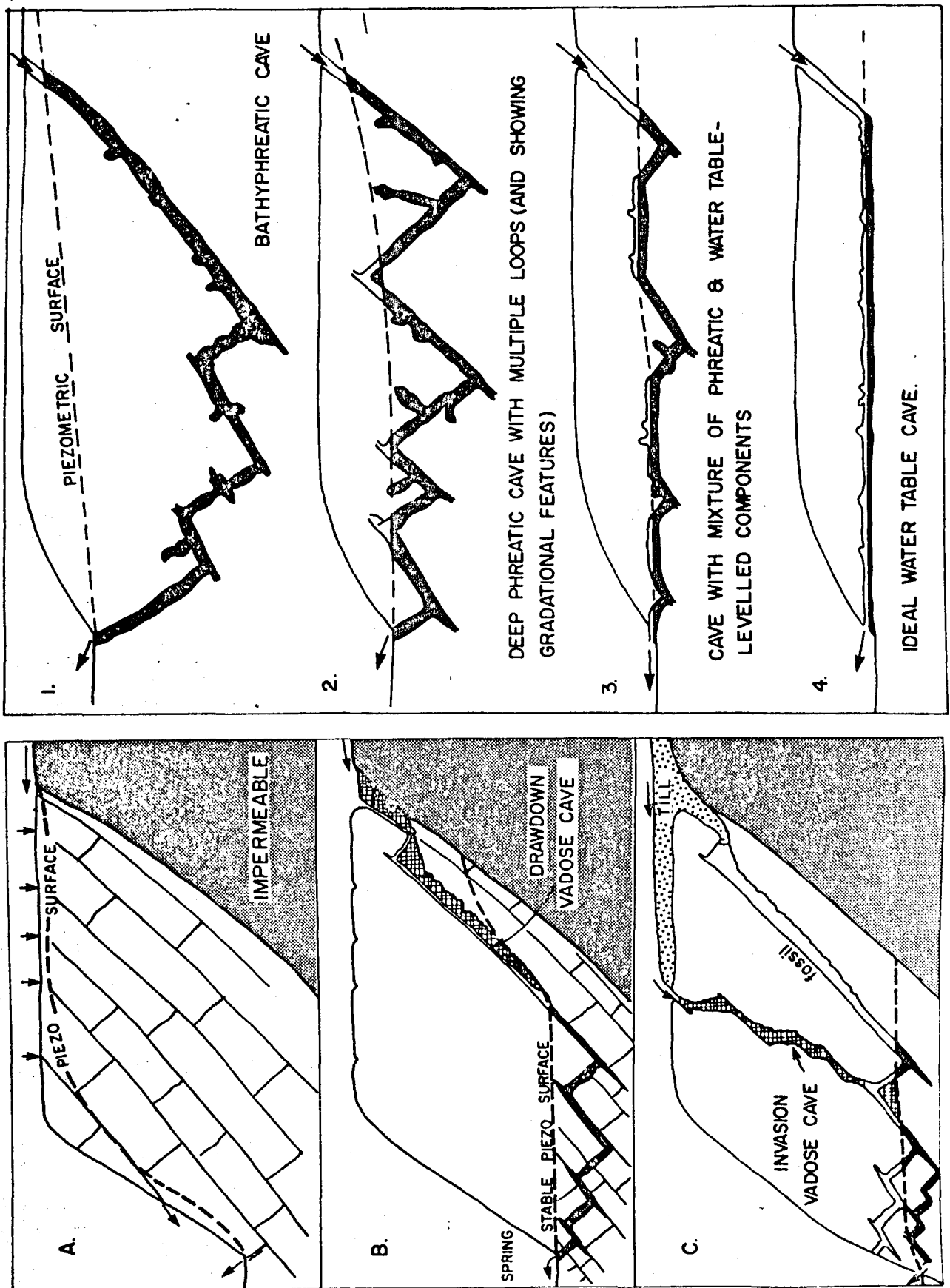


Fig. 29. Morfogenetisk klassifikasjon av grotter, etter Ford (1977b).

grottenivåene i vesentlig grad. Dette kravet er for det meste oppfylt i Norge, og modellen har vist seg fruktbar her (Lauritzen 1981).

Mekaniske modifikasjoner i grotter

Trykkavlastning og frostsprengning forårsaker kollaps (inkasjon) i grotter, og disse prosessene ødelegger korrosjonsformene. En ser ofte at bruddene foregår langs soner som på forhånd er svekket ved korrosjon; det er ikke uvanlig at anastomoser blottlegges på denne måten. Grotteinnganger blir gjerne traktformede og kollapskammere får ofte elliptiske eller cykloide-formede spenn dersom de er store. Kollapsprosesser stenger og åpner grotter, og mange "innganger" i grotter i dag er sekundære kollapsåpninger, mens de opprinnelige inn/utløp er gjenfylt av den samme prosessen. Det er derfor en tilfeldighet at en grotte har tilgjengelig "inngang", og det er utviklet en stokastisk modell for dannelse av innganger i grotter (Curl 1958, 1960). Frostforvitring og kollaps kan også være selvstendige grottedannende prosesser, dette er spesielt vanlig i huler som ikke er utformet i kalkstein. Tektonisk betingete spaltegrotter er vanlige.

Isgrotter

Av andre fysiske prosesser som gjør seg gjeldende i grottesystemer, er den såkalte Balch-ventilasjon (Halliday 1954). Grotter med fler enn en inngang i ulik høyde får sterk trekk, og denne "skorsteinseffekten" er motsatt rettet sommer og vinter, fig. 31. På grunn av trekk og høy luftfuktighet vil det utvikle seg en sone med lav temperatur nær åpninger, fig. 32. I områder med Køppen D-type klima eller i høytliggende områder i andre klimasoner, går disse temperaturene under 0°C og is akkumuleres i denne sonen. Ismassene "oversommer", og slike isgrotter er også kjent i Norge. De samme betingelser er også tilstede i gruver.

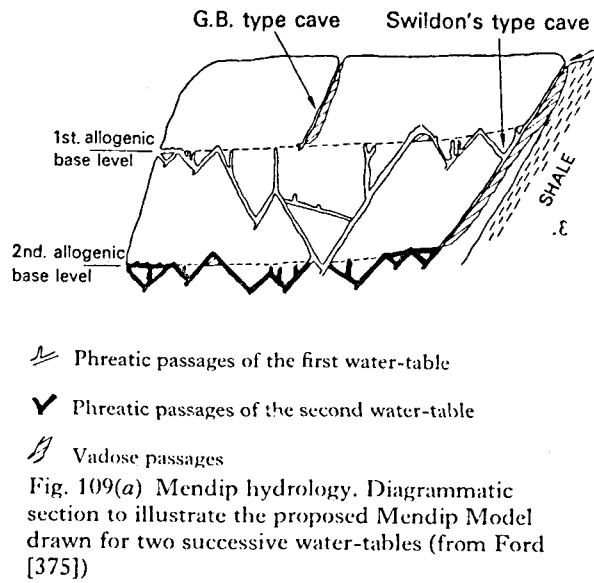


Fig. 30. Vadose og freatiske forlemener justeres til den piezometriske overflaten ved ulike stadier i senkningen av erosjonsbasis (Vorfluter). Etter D.C. Ford.

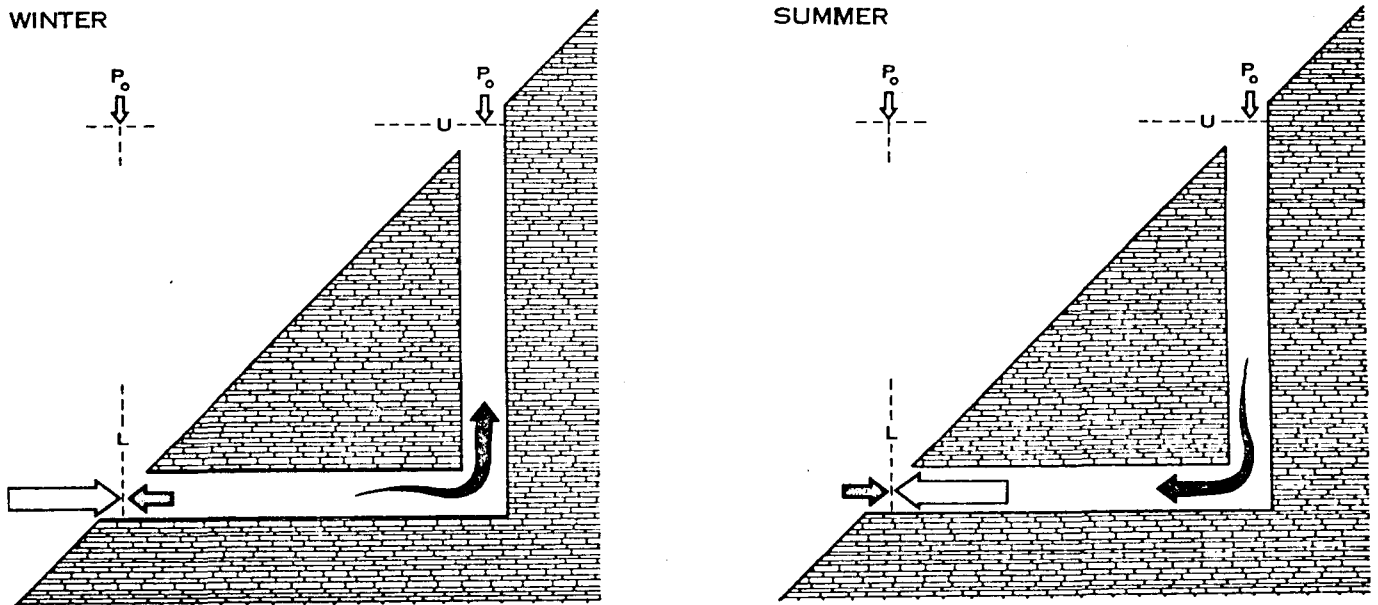


FIG. 9.1. Cave winds caused by the "chimney effect". In winter the cold outside air column above L creates a pressure (left-hand arrow) which is greater than that due to the air column inside the cave (smaller right-hand arrow at L). The pressure imbalance causes air to move within the cave from L to U. In summer the pressure imbalance is in the opposite direction and air moves from U to L.

Fig. 31. Skorsteinseffekt i grotter med fler enn en inngang. Etter Wigley and Brown (1976).

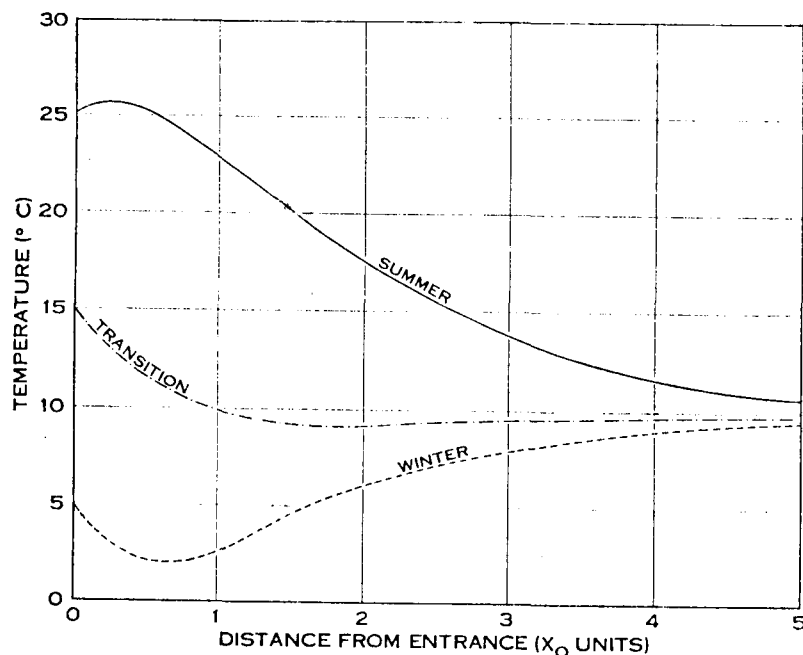


Fig. 32. Temperaturprofil innover fra inngangen i en ventilert grotte. Etter Wigley and Brown (1976).

1.5. SPELEOKRONOLOGI

Sedimentære sekvenser i grotter

Grottesedimenter må være yngre enn den kaviteten de ligger i, og forøvrig gjelder det samme prinsipp som ved overflate-sedimenter, at yngre lag ligger oppå eldre. Diskontinuitet i sedimentsekvensene er vanlig. Fluvial sedimentasjon foregår i eller like under den piezometriske overflaten (delta-type mekanisme) eller i utvidelser i grottegangene (freatisk eller vados sedimentasjon). Frostsprengning og solifluksjon produserer også (autoktone) sedimenter i grotter. Finkornede sedimenter viser ofte laminasjoner parallelt med passasjevegger og -tak. Sedimentasjon i taket (parallell accretion; Reams 1968, Bull 1977) må sies å være spesifikt for grottesedimentasjon. En skal videre være oppmerksom på at hevert-effekter i grotter sannsynligvis kan gi "autosyklisitet" i sedimentasjonen.

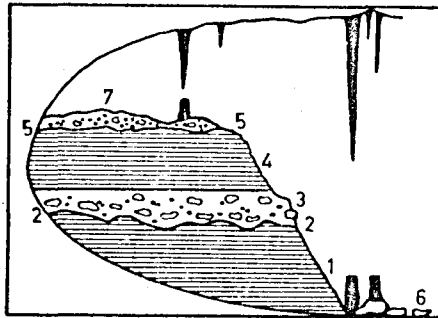


Abb. 13.9. Sedimente vom „Roten Gang“, Hölloch (Details s. Text)

Fig. 33. Tolking av sedimentprofil i grotte, etter Bøgli (1978).

- 1) Rød, jernholdig leire
- 2) Erosjonsflate (2-2)
- 3) Stein og grov sand, syngenetisk med 2)
- 4) Leire
- 5) Erosjonsflate (5-5-6)
- 7) Grus

Erosjonsflater med samtidig avsetning av grov- klastisk materiale korreleres av Bøgli med kaldere perioder. Leiren antas avsatt i varmere perioder.

Grottesedimenter er relativt lite undersøkt i speleogenetisk og -kronologisk sammenheng; de mest detaljerte stratigrafiske studier er gjort av arkeologer og paleontologer. Et eksempel på tolking av en sedimentsekvens er vist på fig. 33.

Absolutt-dateringer på kjemiske sedimenter

Dryppstein (speleotemer) er sub-aerile utfellingsformer av kalsiumkarbonat. De dannes dersom perkolasjonsvann mettes med CaCO_3 ved et P_{CO_2} som er høyere enn grotteatmosfærens P_{CO_2} . Når dette vannet pipler fram i grottetaket, ekvilibrerer vannet til en lavere P_{CO_2} , og kalsiumkarbonat felles ut. Dryppstein er de mest populære turistattraksjoner i grotter, og de er særlig utsatt for plyndring. De skilles i to hovedtyper, *stalaktitter* som henger ned fra taket og har en kon-i-kon lagdeling, og *stalagmitter* som står opp fra gulvet og har parallell horisontal lagdeling. Dryppstein dannes i

den vadose sonen og i relativt varme klimaperioder. Forekomsten av stalagmittutfellinger i en sedimentsekvens er derfor indikasjon på tørrlegging og varmere betingelser.

Radiometrisk datering av dryppstein

¹⁴C-metodikk

Da atmosfærisk CO₂ er involvert i korrosjonsprosessen (fig. 5), og en del av dette nødvendigvis må utfelles i dryppsteinen, har en variant av ¹⁴C-metodikk vært brukt til å aldersbestemme dryppstein. Ved å korrigere for "gammelt" karbon fra moderbergarten har en rekke slike dateringer vært gjort (Franke 1971, Franke et al. 1971). På grunn av ¹⁴C-isotopens relativt korte halveringstid har denne metoden en geologisk sett "kort" rekkevidde.

Uran-serie dateringer

Prinsippet for denne metodikken er at uran og thorium utlutes fra eruptiver og sedimentære bergarter ved forvitring. Under perkolasjonen vil alt thorium absorberes til leirmineraler, mens uran forblir i løsning. Under dryppsteinsutfellingen medfelles uran som karbonatkompleks, og dryppsteinen utgjør et geokjemisk sett lukket system som i utfellingsøyeblikket var fritt for thorium (fig. 34). Thorium vil gro inn til likevekt er nådd etter ca. 400 000 år. Flere dateringsmetoder er mulige i uran seriene, men mest brukt er ²³⁴U/²³⁰Th-metoden som har et anvendelsesområde i intervallet 1 000 - 350 000 år. Dette er nærmere 10 ganger rekkevidden for ¹⁴C-metoden.

Metoden er utviklet og tatt i bruk i løpet av de siste 5-10 år og en del data er etterhvert blitt tilgjengelige. Stalagmittaldre synes å være samlet i grupper som kan korreleres med glasiiale/interglasiiale sekvenser. Stalagmittutfellinger er

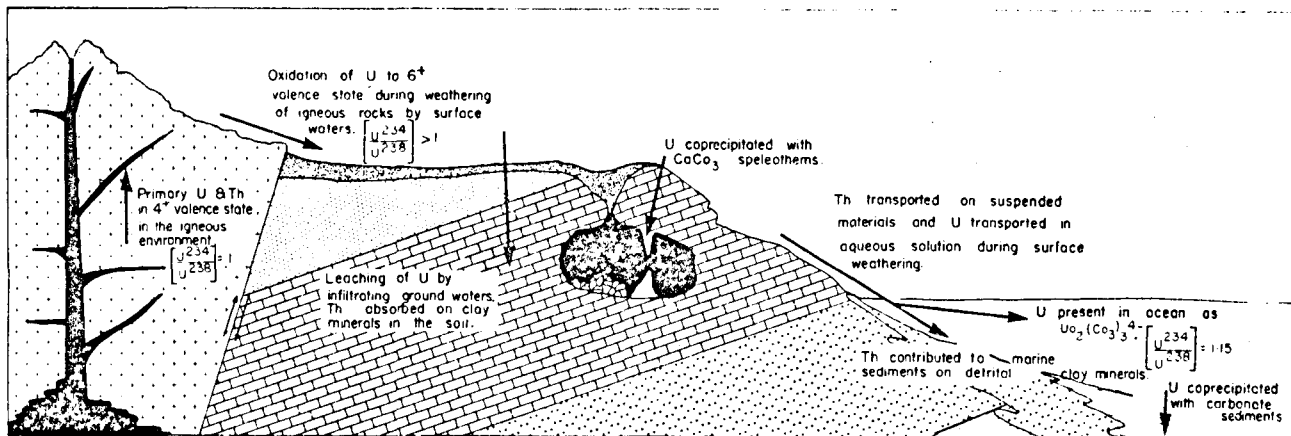


Fig. 2. Idealized schematic diagram of the geochemical behavior of uranium and thorium during weathering and transportation in the surface and near-surface environments.

Fig. 34. Transport av uran og thorium i miljøer langs og nær jordoverflaten. Etter Harmon et al. (1975).

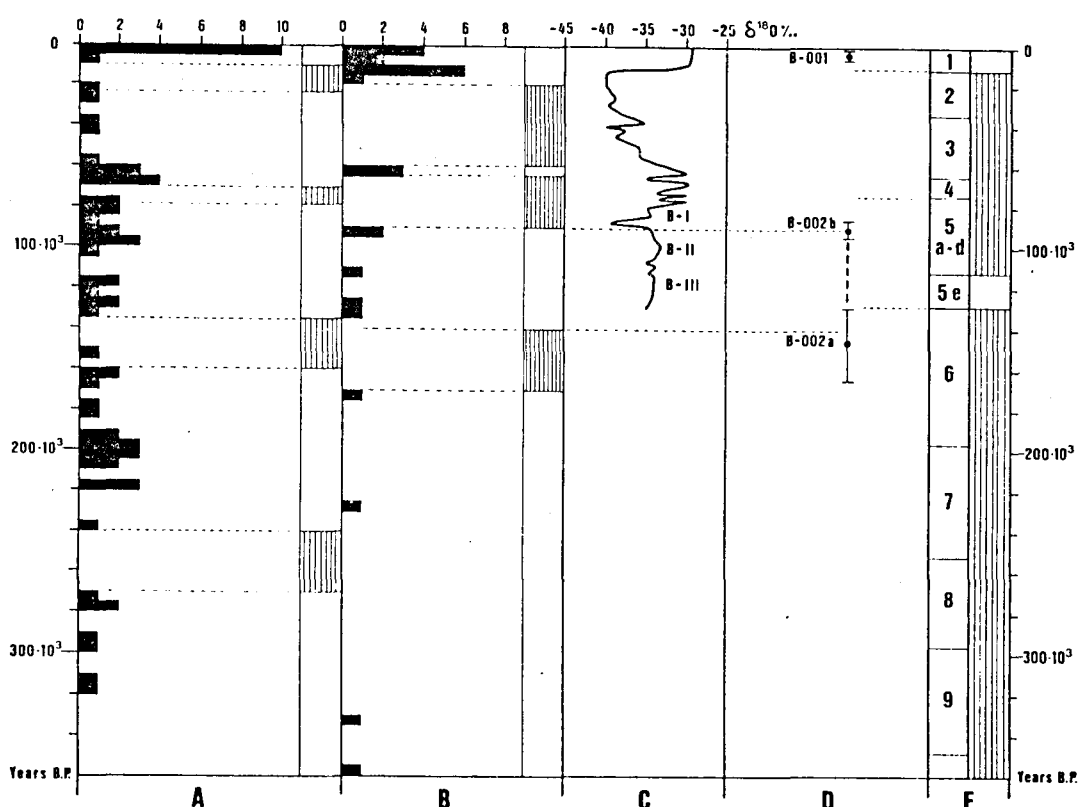


Fig. 3. A) Dating results of 70 speleothem samples from North America north of 35° N latitude; the shaded areas in the column to the right indicate periods of reduced speleothem growth corresponding to periods of cold climate in Northern North America. After Harmon et al. (1975).
 B) Dating results of 25 speleothem samples from Britain. After Atkinson et al. (1978).
 C) Oxygen isotope profile through the Greenland ice sheet at Camp David. B I-III are the ages of the Barbados terraces I-III. After Johnsen et al. (1972).
 D) The dating results of samples B-001, B-002a, and B-002b including one standard deviation are plotted and compared with the other chronologies.
 E) The chronology of the oxygen isotope stages and Kellogg's (1975, 1977, 1978) glacial/interglacial sequences based on Norwegian Sea deep-sea core data. Only the unshaded areas should correspond to ice-free conditions in the Norwegian Sea and thus real 'interglacials'.

Fig. 35. Datering av to stalagmitter fra Norge (B-001 og B002(a-b)), sammenliknet med andre stalagmitt-dateringer og kvartære kronologier. Alderen på B-002 korrelerer med siste mellomistid (Eem). Etter Lauritzen and Gascoyne (1980).

interglasiale fenomener. Et dateringsprosjekt på dryppsteinsmateriale er i gang i Norge, og foreløpig er to prøver datert (Lauritzen and Gascoyne 1980), fig. 35.

Denne dateringen er bevis på at minst en grotte i Norge er eldre enn siste istid (Weichsel glasial) og dette er den første absolutt-datering av kontinentale interglasiale begivenheter i landet. Resultatet gjør det sannsynlig at flere andre grotter har tilsvarende alder, og det er også lokalisert fossile stalagmitter som postdaterer sedimentsekvenser. Dette viser at norske karsthuler er unike forekomster i kvartærgeologisk sammenheng, idet de er de eneste lokaliteter som inneholder direkte daterbare interglasiale sedimenter på fastlandet.

På grunn av stalagmittenes tilknytning til den vadose sonen, kan dateringene også brukes til å datere eksterne erosjonsbasis. Den ene av dateringene viser at dalerosjonen utenfor grotta ikke kan ha vært større enn 50 m i løpet av Weichsel istid.

Det er derfor klart at karstmorfologi og speleokronologi er unike hjelpemidler til å bestemme landskapsutviklingens historie i Norge.

1.6. BIOSPELEOLOGI

Grotte-økosystemer som økologiske laboratorier

(E. Østbye, S.E. Lauritzen)

Grotter representerer unike økosystemlaboratorier på mange måter. Først og fremst ved et relativt stabilt og konstant klima uten større sesong- eller døgnmessige variasjoner. Mangelen på solstråling, både som varme- og lyskilde er videre et karakteristisk trekk. De organismer som forekommer i disse omgivelser kan inndeles i tre hovedkategorier:

- 1) *Trogloxenene* som forekommer nær åpningene og som kan benytte grotter som oppholdssted for en viss tid, f.eks. flaggermus og flere invertebrater.
- 2) *Troglofilene* som kan foretrekke mørke og kjølige oppholdssteder, ofte nær grotteåpninger, som f.eks. flere krepsdyr.
- 3) *Troglobiontene* som er obligate grottedyr, helt tilpasset til dette miljø, f.eks. flere invertebrater (krepsdyr, insekter) og noen vertebrater (fisk, salamander).

Den biologiske struktur i grotter er karakterisert som meget enkel; med et meget lavt arts- og individtall. I økosystemstudier er systemer med lav diversitet mindre kompliserte som undersøkelsesobjekter enn systemer med større diversitet. Slike isolerte systemer peker seg også ut som gunstige objekter for studier av evolusjonsprosesser, f.eks. begynnende artsdannelse.

Den lave artsdiversitet i grotter kan også tyde på at disse økosystemene er relativt ustabile systemer, dersom de utsettes for miljøforstyrrelser. Systemenes artsstruktur og artenes populasjonsdynamikk må klarlegges nærmere for å gi svar på dette, sammen med studier om organismenes tilpasninger til sitt livsmiljø.

Norge representerer et spesialtilfelle, idet en må regne at eventuell rase- eller artsdannelse kun har hatt maks. 10-12 000 år (postglasialt) og derfor er lite sannsynlig. Imidlertid viser våre foreløpige innsamlinger (Lauritzen 1977a, 1977b, Lauritzen et al. 1978) enkelte overraskende trekk: Foruten "normale" mørkesøkende faunakomponenter har vi også funnet dyr som viser tilpasning til grottemiljøet. Svakt pigmenterte eksemplarer av *Gammarus lacustris* med små øyne, samt avblekede eksemplarer av ørret og røye er vanlig i enkelte grotter i Norge. Det er også verdt å nevne at soppmyggen *Speolepta leptogaster*, både larver og images er funnet i en grotte i Norge. Denne arten er tidligere ikke rapportert fra landet og er ellers bare funnet i grottemiljøer. Flaggermus overvintrer i gruver og grotter (Lauritzen et al. 1978). Et stort knokkelmateriale er også innsamlet hvor de fleste av våre pattedyr er representert. Innsamlingene er nå foreløpig avsluttet og materialet under bearbeidelse.

1.7. ARKEOLOGI OG PALEONTOLOGI I GROTTER

Grotter inneholder i mange tilfeller usedvanlig store konsentrasjoner av dyreknokler, ofte pakket sammen på et lite areal. Grotter er derfor blant de rikeste lokaliteter for kvartær/tertiær paleontologi og arkeologi. En kan nevne at de fleste funn av hominider (nærmennesker) og kvartær fauna er gjort i grotter.

Dette fenomenet skyldes to forhold, for det første er grotter lokaliteter hvor det er stor sannsynlighet for at dyrerester vil konsentreres. Natursjakter er farlige, og kollapsåpninger i grottetak fungerer som dyregraver. Taluskjegler under slike dagåpninger er rike på knokler. Noen dyr (og mennesker) har sitt tilhold i grotter, og matrester og individene selv blir

liggende igjen der. I europeiske grotter er det funnet store mengder bein av flaggermus, brunbjørn, hulebjørn og hule-hyene.

Den andre faktoren er at grottemiljøet oftest virker preserverende på knokler. I overflatelokaliteter må dyrerester havne i anaerobe miljøer for å bli oppbevart (innsjøsedimenter, myrer); ellers vil solstråling, bakterielle prosesser og oksydasjon raskt ødelegge beinsubstans. I grotter mangler solstråling, det er lave temperaturer og det basiske miljøet i karsthuler favoriserer oppbevaring og fossilisering av beinsubstans. I grotter som ikke ligger i kalk er beinsubstans oftest ustabil og forvitrer raskt.

Dryppsteinsutfelling kan også direkte preservere dyre- og planterester. Det er kjent tallrike eksempler på at insekter, flaggermus og større pattedyrknokler er innesluttet i stalagmitter. Et godt eksempel på ulike avsetningstyper i grotter er vist i fig. 36. Biostratigrafi brukes til å datere grotter, og omvendt vil stalagmittdateringer gi absolutte aldre på faunakomponentene.

I Norge er det kjent et anseelig materiale av bl.a. brunbjørn fra grotter. Ellers er feltet svært lite undersøkt, og det må understrekes at potensialet er stort. At karstformer i dag akkumulerer dyrerester er tydelig å se i flere deler av Saltfjell-Svartisområdet; i enkelte tilfelle inneholdt 10% av alle undersøkte sprekkdoliner og natursjakter reinsdyrskjeletter. Vi har også mange eksempler på at buskap har falt ned i grotter. Det er også påvist doliner som er utvidet av mennesker og brukt som dyregraver. Omvendt har vi eksempler på at en har lagt steinheller over natursjakter - som viste seg å inneholde knokler.

Bortsett fra noen kløvde reinsdyrknokler er det ved befaringene ikke funnet rester av eldre menneskelig aktivitet inne

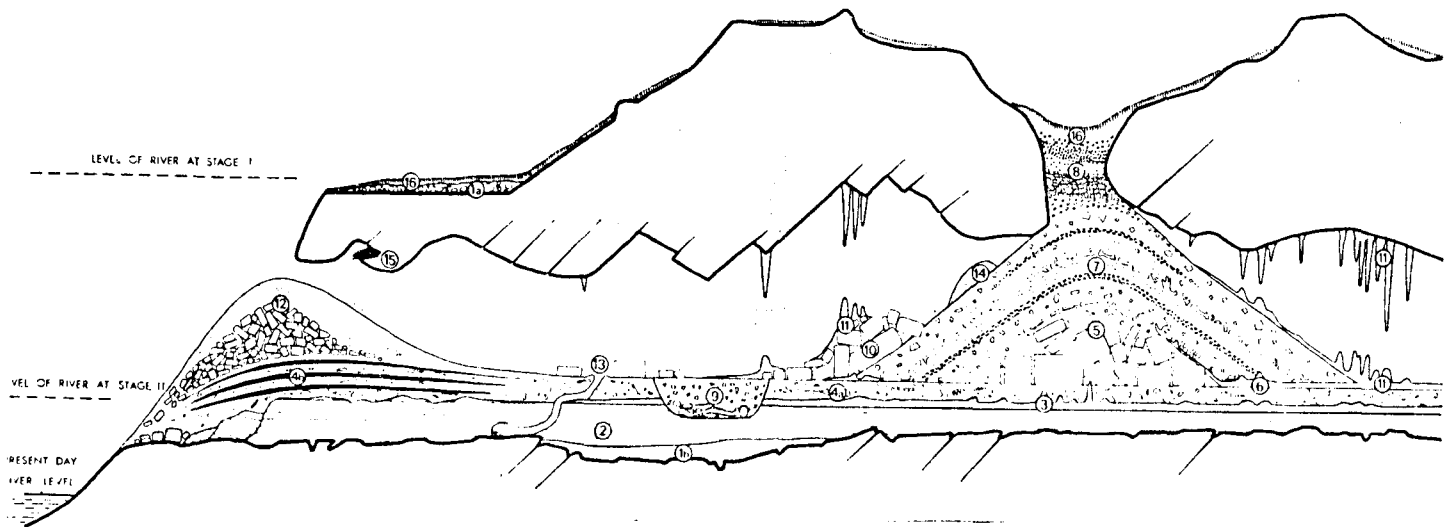


FIG. 13.2. Section of an imaginary bone cave. Drawn by Una Sutcliffe. Reproduced, with permission, from *Studies in Speleology* 2 (2), 1970.

The section shows the principal types of deposit found in caves and emphasizes some of the problems associated with reconstructing the sequence of events leading to their accumulation.

The section shows how, in general, the lowest deposits in a cave are the earliest; those above later, but that deposits may be discontinuous or disturbed, so that their relationship is not always easy to interpret. The earliest deposit shown (1a) is a river-terrace deposit laid down on the hill above the cave at a time when a river was flowing at level I and the entire cave lay beneath the water-table. While this deposit was being laid down, cave formation was still taking place under phreatic conditions and insoluble residue from the limestone was settling on the cave floor (1b).

Valley downcutting then caused the river to fall to a lower level, II, draining all but the lowest part of the cave. A vadose stream flowing out of the cave laid down sand and silt (2) in its bed. Animal remains sometimes occur in such deposits, but are uncommon. Further valley deepening caused the river to fall again, leaving the cave dry and causing layer 2 to be truncated by erosion at the cave mouth. A layer of flowstone (3) then accumulated on the floor of the inner part of the cave. Carnivorous animals, entering the cave, left the debris of their food and other remains (4a). Man, sheltering at the cave mouth, left the ashes of his fires (4b).

A rock fall (5) then opened a shaft in the cave roof and another layer of flowstone (6) formed. Earth and rock fragments and the remains of animals which had fallen into the cave by accident formed a talus cone (7), beneath the shaft, which finally became completely filled by sediment (8).

A human body (9) was then buried in the cave floor, disturbing deposits 2, 3 and 4, but subsequently being covered by part of another rock fall (10) and by further flowstone associated with stalagmites and stalactites (11). A talus cone at the cave mouth (12) accumulated directly upon layer 4 but cannot be related to layers 5-11 of the cave interior, because it is isolated from them.

A burrowing animal dug a burrow (13), deflected by flowstone layer 3, in the cave floor, throwing up fossil bones from depth onto the surface and subsequently dying in the burrow. A pile of bat dung (14) accumulated beneath a bat roost inside the cave and a pile of rodent bones beneath a nest of bird of prey (15) at the cave mouth. A layer of soil (16) formed on the hill top above the cave. Two further common types of disturbance not shown in the section are slumping and washing out by water.

Fig. 36. Snitt igjennom en (hypotetisk) knokkelførende grotte. Etter Sutcliffe (1970).

i grottene. Hovedgrunnen til dette er sannsynligvis at systematiske utgravninger ikke er foretatt. Potensialet her er også sannsynligvis stort idet mange fossile grotter har en beliggenhet og utforming som gjør dem utmerkede til boliger.

1.8. FORSLAG TIL VERNEKRITERIER FOR KARST

Gjessings (1977) inndeling og oversikt over vernekriterier for geomorfologiske fenomener kan også brukes på karstformer.

Fenomenene utgjøres av berggrunnsformer dannet ved forvitningsprosesser. Det er i seg selv sjeldent at forvitring er den eneste formdannende prosessen på landformer i Norge. Karstformene inneholder sedimentære strukturer, sjeldne mineraler, fossiler og resente biologiske systemer. Karstformer er lite undersøkt i Norge. Formene er sjeldne i hele Skandinavia, og den store konsentrasjonen i Saltfjell-Svartisområdet gjør at de kan karakteriseres som unike.

Den regionale oversikten er begrenset og det er foreløpig umulig å vurdere de enkelte formene som typiske eller ikke på landsbasis. Strategien ved en befaring må bli at en i første rekke søker å registrere det som finnes av karst i området. Dernest kan evalueringen gå ut på hvorvidt formene er typiske/atypiske i henhold til internasjonal litteratur.

Davies (1966) gir en oversikt over speleologiens historie, hvor han bl.a. påpeker Norges spesielle forekomster av grotter i et tidligere nediset område:

"Norway, while little known for its caverns, produced detailed speleological studies for its main cavern regions in 1914 and 1947. Work was done by John Oxaal (1914) and Gunnar Horn (1947), both members of the NGU. The caves in Norway are of special interest for they

are relatively large caverns existing in an area that was covered by continental ice sheets during the Pleistocene Epoch."

Prosessene kan vurderes ut fra hvor lett det er å studere dem i den gitte lokalitet. Generelt er karstformer sårbare. Kalkstein er en relativt sprø bergart, og formelementene i karst er ofte spinkle og intrikate. De er lette å ødelegge. Sårbarheten kommer i samme kategori som enkelte arktiske landformer, f.eks. vil fotspor stå i århundrer i en grotte.

Kriterier for undervisning og turisme må sees i relasjon til sårbarhet og sjeldenhet (Lauritzen 1979). Spesiell tilrettelegging for slike aktiviteter kan ikke gjøres før en har full oversikt over forekomstene i et område, eller helst på landsbasis. Det er viktig at forskning gjennomføres før utbygging eller turisme settes i gang. Spesielt sårbare og sjeldne karstformer bør ikke gjøres til gjenstand for undervisning eller turisme. I spesielle tilfelle bør grottene låses av. Dryppsteinsforekomster må være å betrakte i samme kategori som andre sjeldne mineralforekomster. De er spesielt utsatt for plyndring. Noen områder eller grotter må imidlertid avsettes til publikum og til undervisning, og da erfaringer fra turistgrotter viser stor slitasje, må slike lokaliteter undersøkes grundig på forhånd.

Noen av karstområdene er tidlig beskrevet i litteraturen, og de kan derfor betegnes som klassiske områder. Om karstområder skal karakteriseres som nøkkelområder må sees på bakgrunn av den mulighet en har til absolutt-dateringer av sedimenter og dryppstein. Muligheten til datering av eksterne geomorfologiske begivenheter er en spesiell egenskap ved karstformer som gjør speleologi til en nøkkelvitenskap for andre fagområder.

På grunn av at karstformene er relativt lite undersøkt og nylig oppdaget, er de oftest i urørt tilstand i dag, når en ser bort fra områder som allerede er vassdragsregulert. Tilgjengeligheten til karstområdene varierer og det at mange områder ligger relativt utilgjengelig til har vært medvirkende til å beskytte dem. Enkelte nye anleggsveier bør av denne grunn få begrenset adgang for allminnelig ferdsel.

En oversikt over ulike karstformer og deres sårbarhet med hensyn på vassdragsreguleringer er gitt i tabell 2. Generelt gjelder at karstforekomster i Norge er sjeldne, lite undersøkt og sårbare.

KARSTFORMER OG PÅVIRKNINGER VED VASSDRAGSUTBYGGING:

KARSTFENOMENER (objekter)	A. "Drukning" Oppdemming	B. Tørr- legging	C. Anleggs- virksomhet	D. Økt ferdsel som følge av vei
1. <u>Overflate-</u> <u>former.</u> (Karren, doli- ner, tørre daler, etc.)	Enhver mulig- het for under- skjæres. Evt. dokumentasjon og forskning må gjøres <u>før</u> regulering.	Ingen innvirk- ning, idet formene og pro- sessene som så- danne ikke er avhengige av fluviale system av den type som utbygging berører.	Kan lett øde- legges eller begraves, hvis ikke oppmerk- somhet utvises. Karrenformer er ofte spin- kle, og brekkes lett.	Kan lett øde- legges (souvenirer og forsøpling).
2. <u>Resente</u> <u>hydrologiske</u> <u>systemer.</u>	"	Som 1 A.	"	Eventuell forsøpling.
3. <u>Grotte-</u> <u>systemer.</u>	"	Fossile grot- ter berøres ikke, aktive grotter som 1 A.	"	Souvenirjakt inskrripsjoner generell forsøpling.
4. <u>Sedimentære</u> <u>strukturer</u> <u>i grottene.</u> Fossiler.	"	Som 1 B.	Som 1 C. Daterings- muligheter avskjæres.	<u>Svært sårbare</u> <u>for ferdsel;</u> kartlegging og dokumentasjon må gjøres <u>før</u> utbygging skjer.
5. <u>Dryppstein</u> og andre sekundær- mineraler.	"	"	Sprengnings- arbeid i nær- heten kan ødelegge for- masjonene. Daterings- muligheter avskjæres.	<u>Svært sårbare.</u> Souvenirer. Gode lokali- teter bør lâses av.
6. <u>Resente</u> <u>biologiske</u> <u>forekomster.</u>	"	Økologiske systemer mis- ter nærings- tilførsel.	Som 1 C.	<u>Antakelig lite</u> påvirket av ferdsel, men forsøpling og forurensning av fremmed materi- ale utelukker muligheten til økologiske studier.

Tabell II.

2. SPESIELL DEL

2.1. KORT HISTORIKK OVER NORSK SPELEOLOGI OG EN KRITISK INNDELING AV KARSTLITTERATUR

Karstformer har vært nevnt i forbindelse med berggrunnsgeologien i Norge, og tallrike arbeider (NGU) fra Nordland fylke nevner karstformer. Det første systematiske studium av grotter ble gjort av Oxaal (1914) som vesentlig konsentrerte seg om Grønligrotta i Rødvassdalen i Rana. Oxaal foreslo en pro-glasial genesis for grottene, at de var dannet av (bredemt) marginalvann under isavsmeltningen.

Gunnar Horn (1947) gjorde detaljerte studier over ca. 20 grotter i Rana og Svartisen. Han påpekte freatiske grotters eiendommelige terrengposisjon, hengende oppe i dalsidene i U-daler. Horn foreslo en sub-glasial genesis for disse grotte-typene. Korrosjonen hadde ifølge hans teori foregått ved at sub-glasialt smeltevann hadde sirkulert på sprekkene i kalksteinen og dannet grotter. Horn mente at de fleste grottene var dannet i løpet av siste istid.

Corbel (1957) konkluderte med at karstdenudasjonsraten i arktiske og sub-arktiske klimaer er blant de høyeste i verden. Han mente at de fleste grotter var post-glasiale eller dannet under isavsmeltningen. Han korrelerte også grottenivåer med den marine grense og foreslo permafrost som dirigerende faktor for noen grottenivåer.

Siden 1960 har Norge hatt besøk av Britiske "caving clubs" som har besøkt grottene fra et sportslig utgangspunkt.

I løpet av de siste 20 årene har antallet kjente grotter blitt mangedoblet, takket være denne aktiviteten. Det er i dag kjent mellom 500 og 600 karsthuler i Norge, og antallet øker fortsatt.

Lokale grotteklubber i bl.a. Rana, Bodø og Harstad har også bidratt til at nye grotter er funnet og kartlagt (Hjorthen 1968). I 1976 ble en norskorganisert ekspedisjon arrangert til Svartisområdet, hvor mer enn 3 km nye grottepassasjer ble funnet og 1 500 m kartlagt (Lauritzen 1977a,b,c). Norsk Grotteklubb ble stiftet i 1980 med tanke på å tilby en felles enhet i denne aktiviteten, samt å bidra til at utforskningene skjer med så liten slitasje i grottene og risiko for mennesker som mulig. De grotteinteresserte i Norge har sitt eget fagtidsskrift, Norsk Grotteblad, som har vært utgitt siden 1977.

Siden Corbel har ingen faglig vurdering eller tolking vært gjort av den store mengde nytt materiale som er blitt tilgjengelig.

Den foreliggende litteratur om karstformer i Norge kan ifølge sin karakter deles inn i følgende hovedgrupper:

1) Vitenskapelige publikasjoner

Av de publikasjoner som foreligger, tilfredsstillter etter min mening Oxaals (1914), Horns (1947) og Corbels (1957) de krav en må stille her. Med dette menes at de så langt det er mulig har gått metodisk, kritisk til verks og stiller krav til fyllestgjørende bevisføring eller fyllestgjørende begrunnelse av de påstander som fremsettes.

2) Naturalistiske arbeider

Herunder hører først og fremst rapporter fra grotteklubber. Naturalisme er definert i Næss (1974), og går ut på at hovedformålet med arbeidet er selve materialinnsamlingen og at en ikke arbeider etter noen teori eller hypotese med tanke på å bekrefte eller avkrefte denne, slik det er i hypotetisk-deduktiv metodikk. Et godt eksempel er listene over de lengste og dypeste grottene i ulike land. Grottene er "samleobjekt", omtrent som frimerker.

3) *Grotter nevnt i andre sammenhenger*

Bygdebøker og geografiske beskrivelser som Hellands "Norges Land og Folk", samt avisartikler og ukepresse. Denne kategorien gir ofte interessante opplysninger om lokaliteter.

4) *Referatarbeider*

De oversiktene som til nå er gitt (St. Pierre 1967, Hjorthen 1968, Holbye 1974) samler stoff fra alle de nevnte 3 kategorier, men ofte uten å vurdere dokumentasjonens pålitelighet eller faglig nivå i kildematerialet.

Når dette er sagt, skal en også være klar over at mesteparten av det speleologiske arbeidet som er gjort i Norge etter 1960 er gjort av amatører uten spesiell faglig bakgrunn. Disse entusiastene har lagt ned et imponerende arbeid i å finne nye grotter og kartlegge dem, og resultatene utgjør et verdifullt registreringsmateriale.

2.2. REGIONAL UTBREDELSE AV KARSTHULER I NORGE

Norges overflate består for ca. 1% av kalksteiner (Statistisk årbok for Norge), dette utgjør et areal på ca. 3 800 km². Kalksteinsområdene i Norge kan inndeles i to hovedregioner; de kontaktmetamorfe kalksteinene i Oslo-feltet, og de øvrige regionalmetamorfe kalkstein- og dolomittforekomstene i den Kaledonske fjellkjedeforrasjon.

Felterfaring tyder på at det kreves forholdsvis ren og homogen kalkstein for å få utviklet karstformer i Norge, og karst i egentlig forstand har mindre utbredelse enn det nevnte arealet angir. Nå er opplysninger om overflatekarst ytterst sparsomme i Norge; det en vet mest om er grotter. Tettheten av karsthuler i Norge slik de er kjent i dag er vist på Fig. 37.

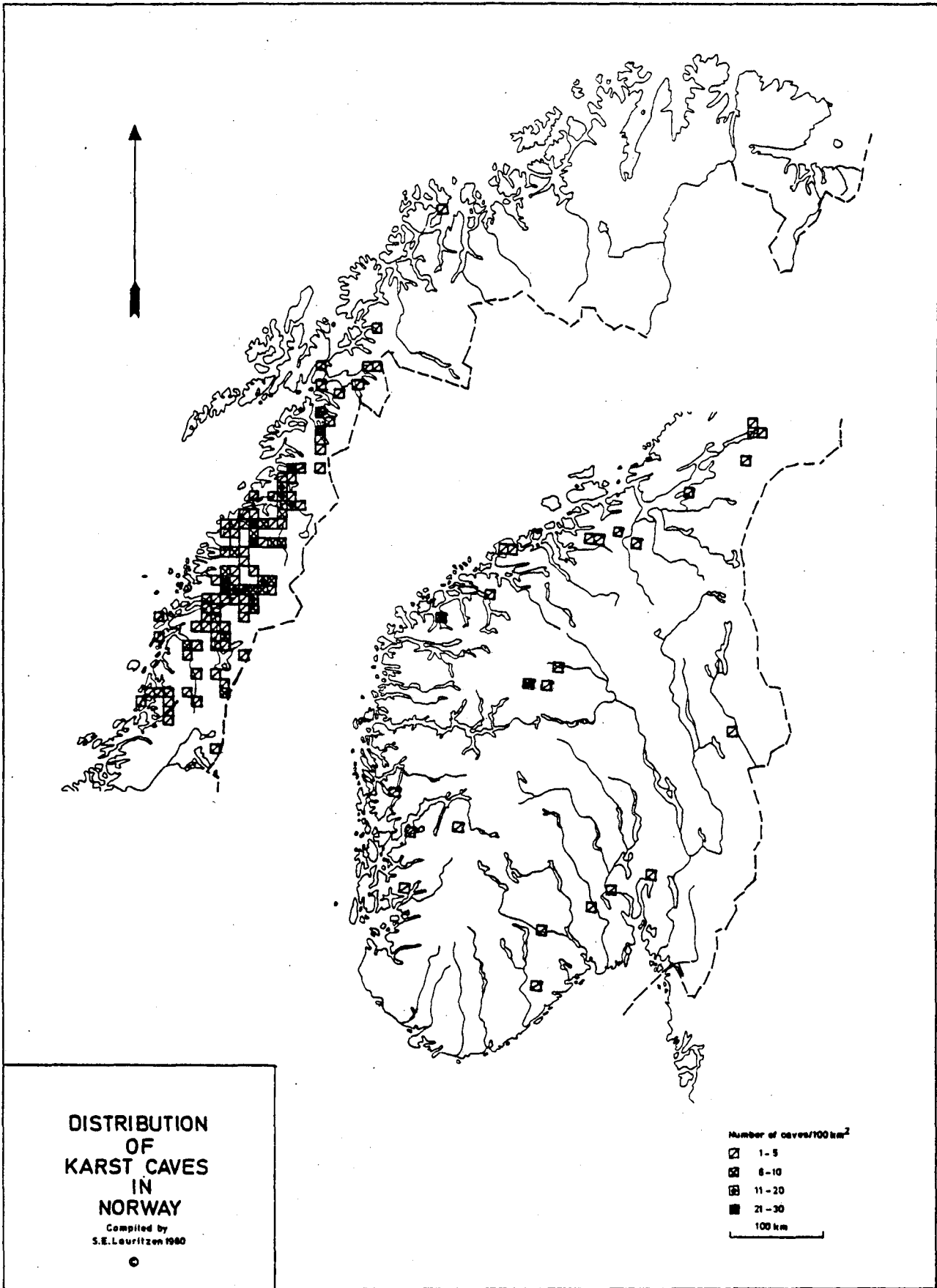


Fig. 37.

Kartet er basert på tilgjengelig litteratur og opplysningene er i de fleste tilfelle korrelert mot geologiske berggrunns-kart. Hver rute er 100 km^2 og kravet for skravering er basert på antall grotter i hvert felt.

Av de 73 feltene i N.Norge ligger 47 i det såkalte Saltfjell-Svartisområdet. Den største lokale tettheten av grotter er også representert i dette området, i og med at de fire områdene med størst grottetetthet ligger her (23-29 grotter/ 100 km^2).

2.3. UTBREDELSE AV KARST OG KARBONATBERGART I SALTFJELL-SVARTISOMRÅDET

Utbredelsen av karbonatbergart (kalsitt- og dolomittmarmor) og kjente karstformer (grotter) i Saltfjell-Svartisområdet er vist i Fig. 38. Ifølge dette oversiktskartet synes det ikke å være noen entydig proporsjonalitet mellom areal karbonatbergart og grottetetthet. Dette kan skyldes flere forhold:

- 1) Det er store litologiske variasjoner innenfor det som betegnes "karbonatbergart". De forskjellige marmor-typerne karster ikke like godt.
- 2) Grotter er et dårlig mål på karst i sin allminnelighet. Som nevnt tidligere er grotter mest typiske i fluvio-karst, og grottetetthet er heller et mål på fluvial på-virkning i et område. Det kreves spesielle hydrologiske forhold for å få grotter av noen størrelse, og som atpå til er såpass tørrlagte at de er passable for mennesker. Det forutsettes at grotta har en "inngang", hvilket er en tilfeldighet. Foreløpig er opplysninger om overflate-karst ikke av tilstrekkelig kvalitet til at det kan brukes som mål på utbredelse.

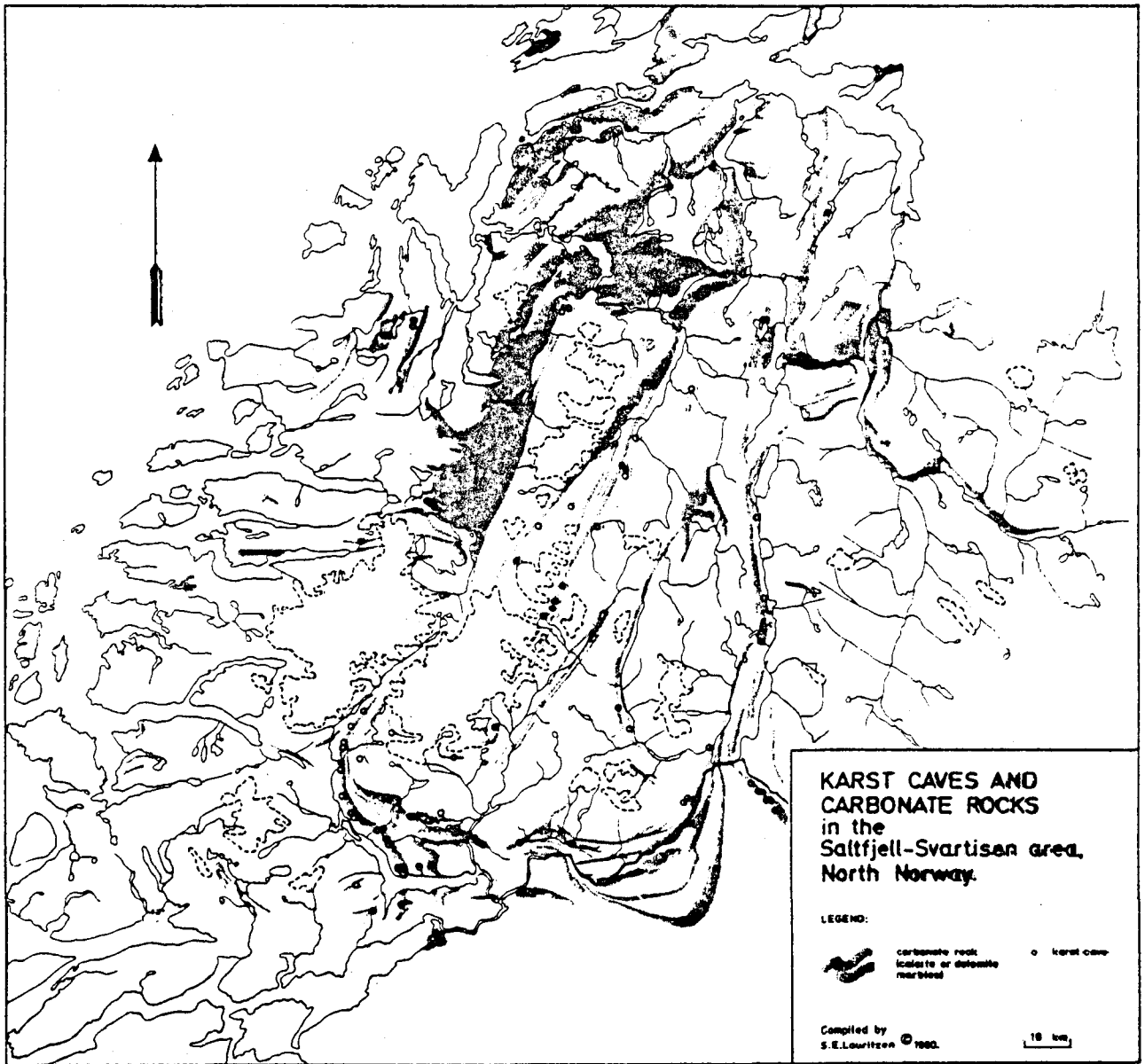


Fig. 38.

- 3) De fleste kjente grottene ligger forholdsvis nær vei og ferdselsårer. Dette er et vanlig fenomen når det gjelder "umodne" utbredelseskart. Et slikt kart er heller en oversikt over hvor letingen har vært konsentrert, enn hvordan den reelle tetthetsfordelingen er. Befaringene i forbindelse med verne vurderingen i Saltfjell-Svartisområdet har til en viss grad bøttet på dette, men utbredelsen av karst i området er allikevel for ufullstendig kjent til at en kan gjøre kvantitative studier.

Forekomst av kalksteiner er en nødvendig forutsetning for at karstformer skal dannes, men lokale (og historiske) forhold kan gjøre at formene er mer eller mindre utviklet. Mitt videre arbeid og etterfølgende rapporter tar sikte på å klarlegge disse forholdene nærmere.

SUMMARY

INTRODUCTION TO KARST MORPHOLOGY AND SPELEOLOGY REGIONAL DISTRIBUTION OF KARST CAVES IN NORWAY

The purpose of this report is to give a general introduction to karst morphology and speleology in Norwegian. It is also a general introduction to subsequent reports that will consider the various karst areas in detail.

This report also provides argumentation for the importance of studying karst landforms in Norway. The study of caves gives invaluable information on other aspects of geomorphology, paleoclimatology, quaternary chronology as well as recent and interglacial ecology. Radiometric dating of speleothems is a tool of immense importance for the interpretation of landform development and chronology in Norway.

About 1% of Norway's surface, or about 3,800 km² consists of limestones, and karst landforms are well-developed in the purer variants of these. As most of the previous work done on Norwegian karst has been conducted by people mainly interested in caves, surface forms are not well-known. The density distribution of karst caves in Norway is shown in Fig. 37, and the distribution of karst caves and carbonate rocks in the area of greatest cave density, the Saltfjellet-Svartisen region, is shown in Fig. 38. Extensive hydroelectric development is planned in this area and in some cases caves and underground rivers will be affected. A subsequent report will discuss these problems.

In spite of the incompleteness of the basal data for Figs. 37 and 38, there seems to exist a regional correlation between karst landforms (caves) and limestones. Karst landforms can

be expected to occur anywhere limestones are exposed, but local and historical factors may give an enhanced or retarded development. One of the aims of my further work is to investigate these variations.

REFERANSER

- Berner, R.A. and Morse, J.W. 1974. Dissolution kinetics of calcium carbonate in sea water IV. Theory of calcite dissolution. *Am.Journ.Sci.*274, pp.108-134.
- Blumberg, and Curl, R.L. 1974. Experimental and theoretical studies of dissolution roughness. *J.Fluid.Mech.*65(4), 734-51.
- Bretz, J.H. 1942. Vadose and phreatic features of Limestone Caves. *J.Geol.*50, pp.675-811.
- Bull, P.A. 1977. Laminations or varves? Process and mechanisms of fine-grained sediment deposition in caves. *Proc.7th.Int.Speleol.Congr.* pp.86-88.
- Bögli, A. 1960. Kalklösung und Karrenbildung. *Zeitschr.f. Geomorphologie.* Suppl. 2, 4-21.
- Bögli, A. 1964. Corrosion par melange des eaux. *Internat.J. of Speleol.* 1(1-2), pp.61-70.
- Bögli, A. 1978. *Karsthydrographie und physische Speläologie.* Springer, Berlin 1978. 292 pp.
- Bray, G. 1977. The role of organic matter in limestone solution in the Ogof Ffynnon Ddu Streamway. *Proc.7th. Int.Speleol.Congr.* pp.65-68.
- Corbel, J. 1957. Les karsts du Nord-Ouest l'Europe. *Docums. Inst.Etud.Rhodan.* 12, 541 pp.
- Corbel, J. 1968. Etudes d'eau en Laponie (1967). *Norois* (60), pp.517-521.
- Curl, R.L. 1958. A statistical theory of cave entrance evolution. *Natl.Speleol.Soc.Bull.*20. pp.9-22.
- Curl, R.L. 1960. Stochastic models of cave development. *Natl.Speleol.Soc.Bull.* 22, pp.66-76.
- Curl, R.L. 1966. Scallops and Flutes. *Trans.Cave Res. Group. Great.Brit.,* 7, pp.121-160.
- Curl, R.L. 1973. Solution kinetics of calcium carbonate. *Proc.4th.Int.Speleol.Congr.* Ljubliania 1968.

- Cvijić, J. 1893. Das Karstphänomen. *Geogr.Abh.*5, pp.217-329.
- Cvijić, J. 1918. L'Hydrographie souterraine et l'évolution morphologique du karst. *Revue Géogr.alp.*6, pp.375-426.
- Cvijić, J. 1925. Types morphologiques des terrains calcaires. Le Holokarst. Le Merokarst. Types karstiques de transition. *C.r.hebd.Séanc.Acad.Sci. Paris* 180, pp. 590-4.
- Davies, W.E. 1966. The Earth Sciences and Speleology. *Natl.Speleol.Soc.Bull.*28 (1), 1-14.
- Engh, L. 1977. Karst Morphology in Subarctic Sweden. *Proc.7th.Intern.Speleol.Congr.* 168-170.
- Erga, S.G. and Terjesen, T. 1956. Kinetics of the Heterogeneous Reaction of Calcium Bicarbonate Formation with Special Reference to Copper Ion Inhibition. *Acta Chem.Scand.*10 (5), pp.872-74.
- Ford, D.C. 1971. Characteristics of Limestone solution in the southern Rocky Mountains and Selkirk Mountains. Alberta and British Columbia. *Can.J.Earth.Sci.*8 (6), pp.585-609.
- Ford, D.C. 1977. Genetic Classification of Solutional Cave systems. *Proc.7th.Int.Speleol.Congr.*, pp.189-192.
- Ford, D.C. 1977. Karst and Glaciation in Canada. *Proc.7th.Int.Speleol.Congr.* Sheffield, pp.188-89.
- Franke, H. und Geuh, M.A. 1971. Radiokohlenstoffanalysen an Tropfsteinen. *Umschau*, pp.91-92.
- Gjessing, J. 1967. Norway's Paleic Surface. *N.geogr.Tidsskr.*21, pp.69-132.
- Goodchild, M.F. and Ford, D.C. 1971. Analysis of scallop patterns by simulation under controlled conditions. *J.Geol.*79, pp.52-62.
- Halliday 1954. Ice caves of the United States. *Natl.Speleol.Soc.Bull.*16, pp.3-28.
- Harmon, R.S., Thompson, P., Schwarcz, H.P., Ford, D.C. 1975. Uranium series dating of speleothems. *Natl.Speleol.Soc.Bull* 37 (2), pp.21-33.

- Helldén, U. 1979. Karst. En studie av Artfjällets karstområde samt jämförande korrosionsanalyser från Västspetsbergen och Tjeckoslovakien. *Medd.Lund.Univ.Geogr.Inst.Avhandl.* LXXII, 192 pp.
- Hjorthen, P.G. 1968. Grotter og Grotteforskning i Rana. *NGU.Småskr.Nr.9*, s.1-40.
- Holbye, U. 1974. *Om vern av kalksteinsgrotter og grotteområder i Norge*. Norges Naturvernforbund. Stensil. 59 s.
- Holbye, U. 1975. *Grotter i de truede deler av utbyggingsområdet Saltfjellet-Svartisen*. Norges Naturvernforbund. Stensil. 92 s.
- Horn, G. 1947. Karsthuler i Nordland. *Norges Geol.Unders.* 165, s.4-77.
- Jakucs, L. 1977. *Morphogenetics of karst regions*. Budapest, 284 pp.
- Jennings, J.N. 1967. The surface and underground geomorphology, pp.13-31 in: *Caves of the Nullarbor*, ed. J.R. Dunkley and T.M.L. Wigley. Sydney.
- Jennings, J.N. 1971. *Karst. An Introduction to Systematic Geomorphology*. Vol. 7. M.I.T. Press. 252 pp.
- Kern, D.M. 1960. The hydration of carbon dioxide. *Journ.Chem. Ed. 37*, pp.14-23.
- Lauritzen, S.E. (Ed.) 1977a. Grotte-ekspedisjonen "Nordland -76". *Norsk Grottebl.* 1(2), 1-94. ISSN 0332 6810.
- Lauritzen, S.E. 1977b. The Norwegian Speleoexpedition to Nordland, Norway. *Brit.Cave.Res.Assoc.Bull.* (16), pp.10-13.
- Lauritzen, S.E. 1977c. Grotte-ekspedisjonen 1977. *Norsk Grottebl.* 1(3&4), pp.33-41, ISSN 0332 6810.
- Lauritzen, S.E. 1979. Urørte grotter også i Framtida. Grotteområdenes faglige verdi kontra vassdragsregulering og turisme. *Den Norske Turistforening Årbok 1979*. s.175-179.
- Lauritzen, S.E. 1981. Statistical symmetry analysis of scallops - a method for determination of flow direction in cave conduits. *Natl.Speleol.Soc.Bull.* in press.

- Lauritzen, S.E. 1981. A study of some karst waters in Norway - spatial variation in solute concentrations and equilibrium parameters in limestone dissolution. *N.geogr.Tidsskr.* 35, 1-19.
- Lauritzen, S.E. 1981. Glaciated karst in Norway. *Proc.8th. Int.Speleol.Congr.Kentucky.* in press.
- Lauritzen, S.E. 1981. Simulation of rock pendants, small scale experiments on Plaster models. *Proc.8th.Int. Speleol.Congr. Kentucky,* in press.
- Lauritzen, S.E. 1981. Hammernesgrottene sett i lys av begrepene om grunnvannspeil og freatiske sløyfer. *Norsk Grottebl.* 2(7), s.20-23. ISSN 0332 6810.
- Lauritzen, S.E., Fremming, O.R. og Hardeng, G. 1978. Overvintring av flaggermus i noen syd-norske gruver og grotter. *Fauna* 31, s.243-249.
- Lauritzen, S.E. and Gascoyne, M. 1980. The first radiometric dating of Norwegian stalagmites - evidence of pre-Weichselian karst caves. *N.geogr.Tidsskr.* 34, pp.77-82.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Pieru, R.S., Eaton, J.S. and Johnson, N.M. 1977. *Bio-geochemistry of a forested Ecosystem.* Springer New York. 146 pp.
- Nakayama, F.S. 1968. Calcium activity, Complex and Ion-Pair in Saturated CaCO₃ Solutions. *Soil Sci.*106, pp.429-39.
- Næss, A. 1974. *Vitenskapsfilosofi.* Univ.forl. Oslo-Bergen-Tromsø.
- Oxaal, J. 1914. Kalksteinshuler i Ranen. *NGU* 69, s.1-46.
- Picknett, R.D. 1976. The chemistry of cave waters, part II: Advanced discussion, pp.225-248 in: Ford, T.D. and Cullingford, C.H.D. *The Science of Speleology,* Academic press. 593 pp.
- Picknett and Stenner 1977. Enhanced Calcite Solubility in Dilute Magnesium Carbonate Solutions. *Brit.Cave Res. Assoc.Trans.* 5(1), pp.47-54.
- Plummer, L.N. and Wigley, T.M.L. 1976. The dissolution of calcite in CO₂-saturated solutions at 25°C and 1 atmosphere total pressure. *Geochim.Cosmochim.Acta.* 40, pp.191-202.

- Rauch, H.W. and White, W.B. 1977. Dissolution Kinetics of Carbonate Rocks. 1. Effect of Lithology on Dissolution Rate. *Water Resour.Res.*13, pp.381-94.
- Rasmussen, G. 1957. Kleinkegelkarst in Nordschweden. *Wiss. Zeitsch. der Ernst Moritz-Arndt Universität Greifswald* 58, pp.5-6.
- Reams, M.W. 1968. *Cave Sediments and the geomorphic history of the Ozarks*. Unpubl. hovedoppg. Washington University, (sitert i Bull, 1977).
- Renault, P. 1968. Contribution a l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la speleogenèse, 3'eme partie: LES FACTEURS SEDIMENTOLOGIQUES. *Ann.Speleol.*23(3), pp.529-593.
- Rosenqvist, I.T. 1977. *Sur jord - surt vann*. Ingeniørforlaget, Oslo 1977, 123 s.
- Rosenqvist, I.T. 1980. Influence of forest vegetation and agriculture on the acidity of fresh water. pp.56-79 in: Pfafflin, J.R. and Ziegler, E.: *Advances in Environmental Science and Engeneering*. Gordon and Breach N.Y. 1980.
- Smith, D.I. and Atkinson, T.C. 1976. Process, landforms and climate in limestone regions. pp.367-409 in: Derbyshire, E. (Ed.). *Geomorphology and Climate*. John Wiley, London.
- St.Pierre, S. 1967. Cave studies in Nordland, Norway. *Studies in Speleology*, Assoc. of the William Pengelly Cave Research foundation 1(5), pp.275-284.
- Sutcliffe, A.J., Bramwell, D., King, A. and Walker, M. 1976. Cave Paleontology and Archeology, pp.495-549, in: Ford, T.D. and Cullingford, C.H.D. (eds.) *The Science of Speleology*, Academic Press, 593 pp.
- Sweeting, M.M. 1972. *Karst Landforms*. McMillan, 362 pp.
- Terjesen, S.G., Erga, O., Thorsen, G. and Ve, A. 1961. Phase boundary processes as rate determining steps in reactions between solids and liquids. *Chem.Eng.Sci.*54, pp.277-288.

- Thrailkill, J. 1968. Chemical and hydrologic factors in the excavation of limestone caves. *Geol.Soc.Am.Bull.* 79, pp.19-46.
- Trombe, F. 1972. *Traité de Spéléologie*. Payot. Paris. 373 p.
- Warwick, G. 1976. Geomorphology and Caves. pp.61-125 in: Ford, T.D. and Cullingford, C.H.D.: *The Science of Speleology*. Academic Press. 593 pp.
- Weyl, P.K. 1958. The solution kinetics of calcite. *J.Geol.* 66, pp.163-76.
- Williams, P.W. 1977. Solution of marble in N.W. Nelson, New Zealand. *Proc.7th.Internat.Speleol.Congr.* pp.436-438.

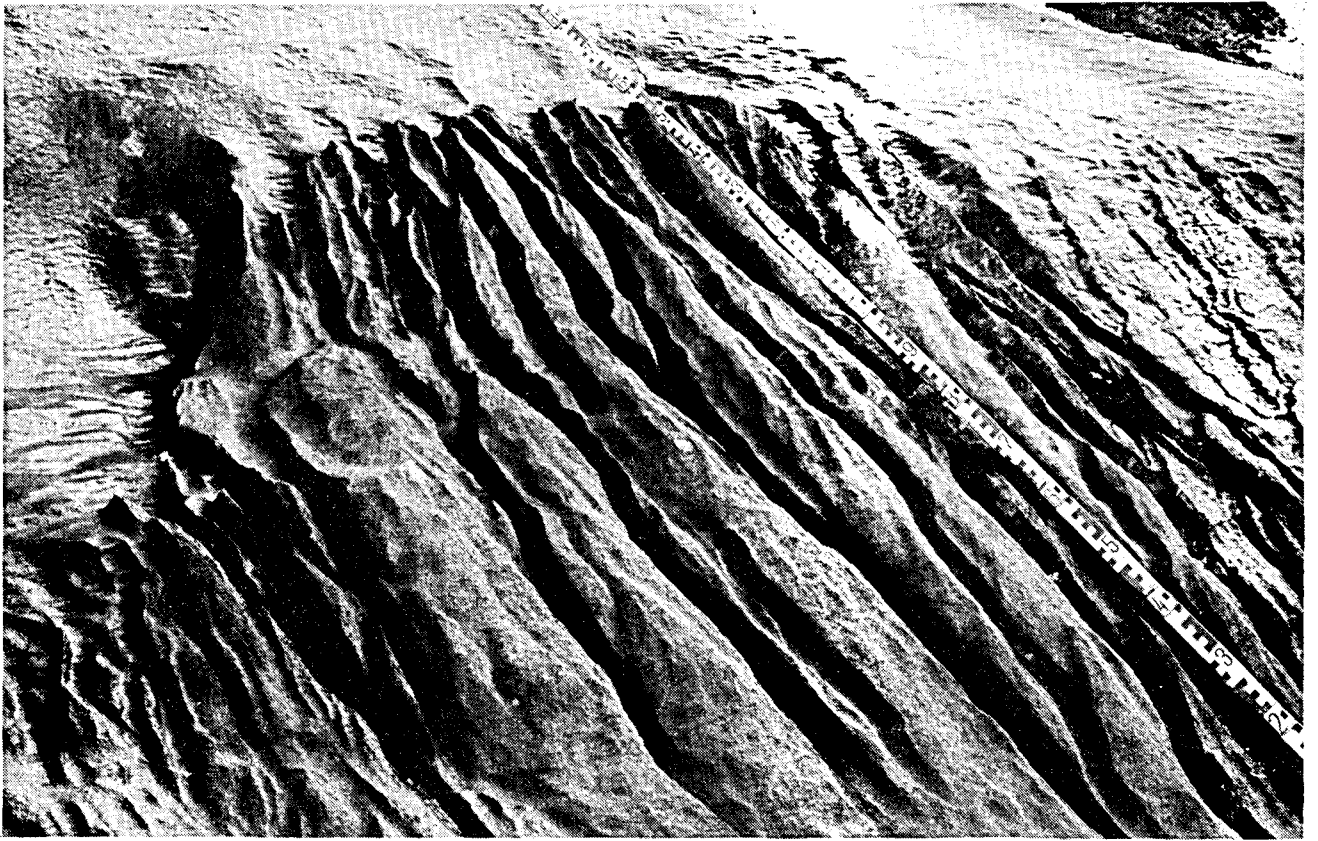


Foto 1. Rinnenkarren, Pikhågan, Svartisen.



Foto 2. Trittkarren, Pikhågan, Svartisen.



Foto 3. Wandkarren er karrenfurer på loddrette flater.
Glomdal, Svartisen.

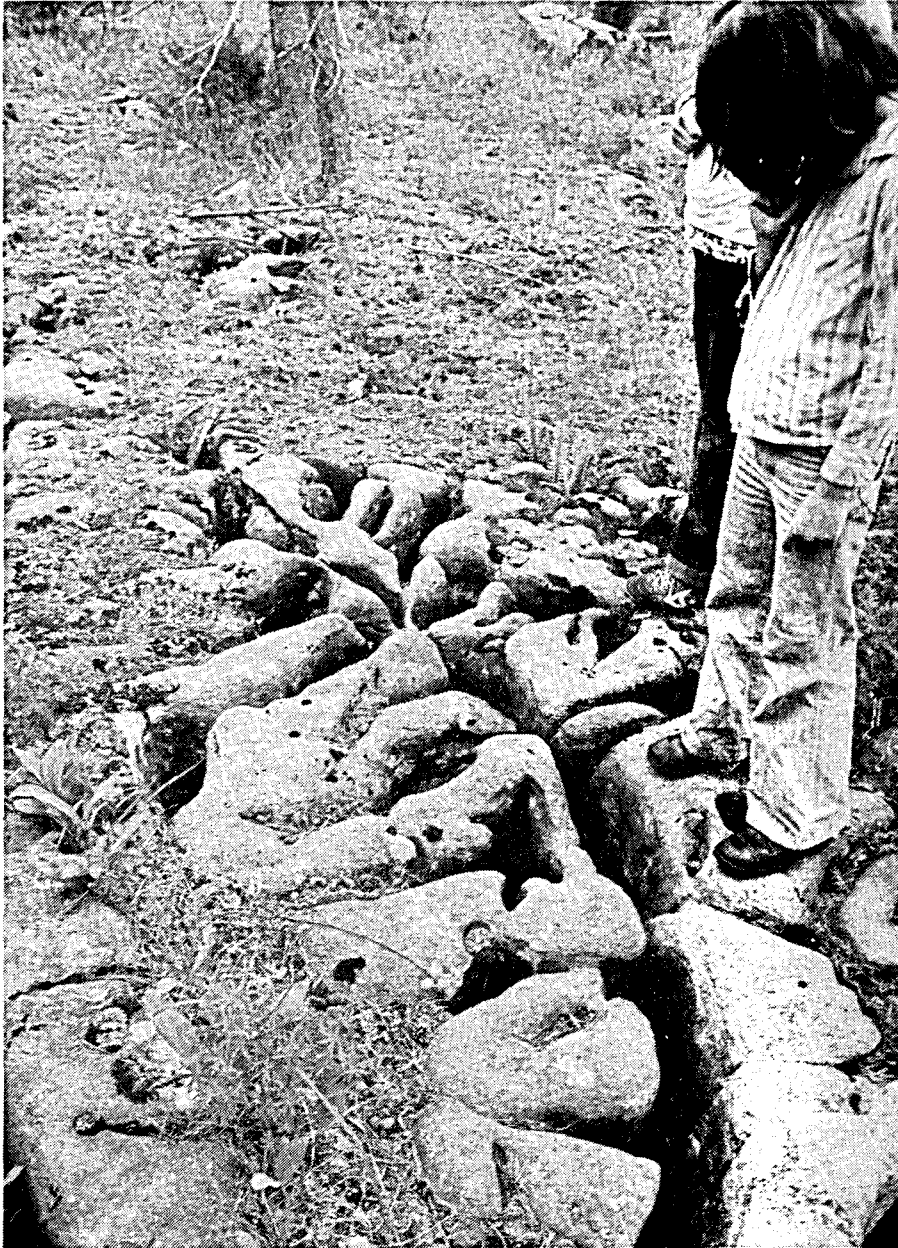


Foto 4. Horisontal kalksteinsoverflate (Limestone pavement) med sprekkutvidelser (grikes). Skrimfjell.



Foto 8. Kollapsdoliner, Pikhågan. Collapse dolines, Pikhågan.



Foto 9. Glasiar karstformer eller preglasiar karst? Grottefragmenter i støt-
siden på rundsua, Pikhågan. Jfr. klassifikasjon side 4.
Glaciokarstic forms or pre-glacial karst forms? Cave fragments in the
stoss side of roche mutonnees, Pikhågan.

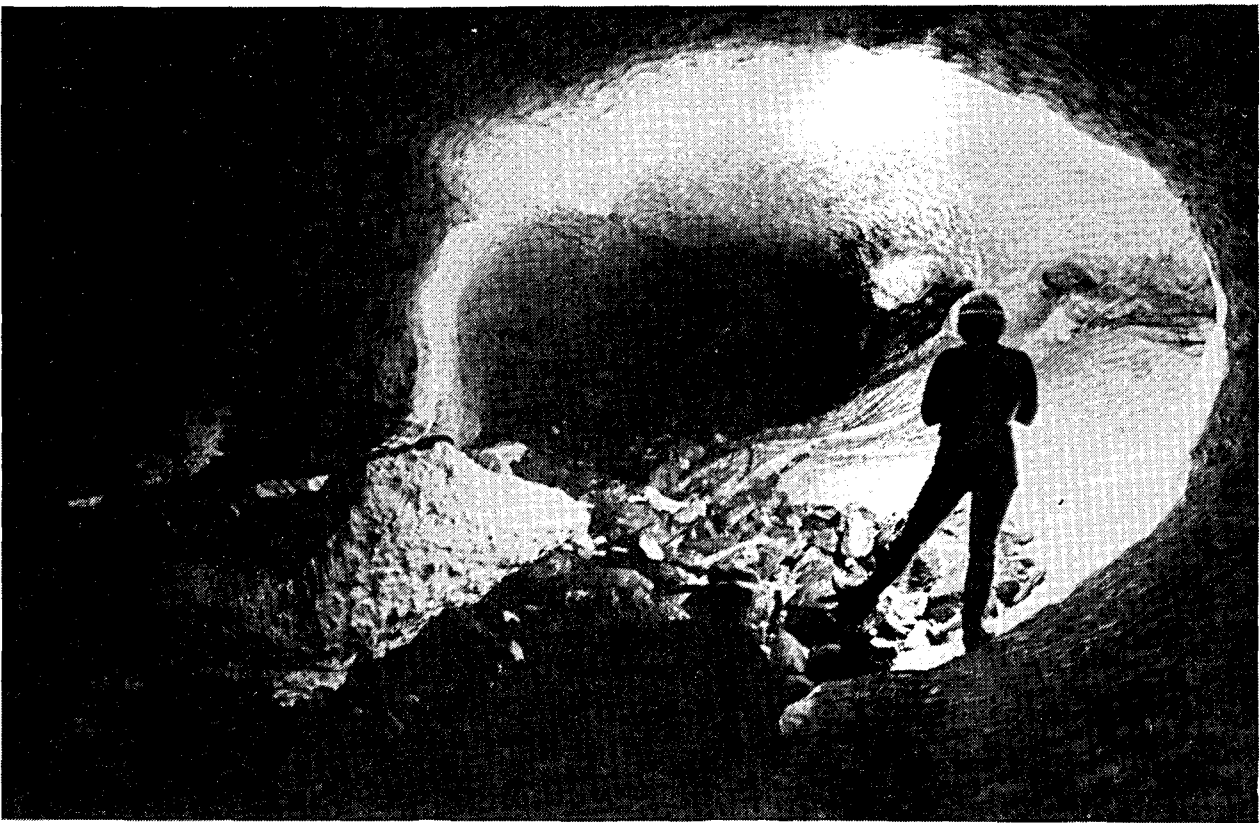


Foto 10. Fra "Kongens Parade" i Fosshølet, Pikhågan. Dette er en usedvanlig godt utviklet trykkledning. En ser videre ledespalten og anastomoser langs denne.

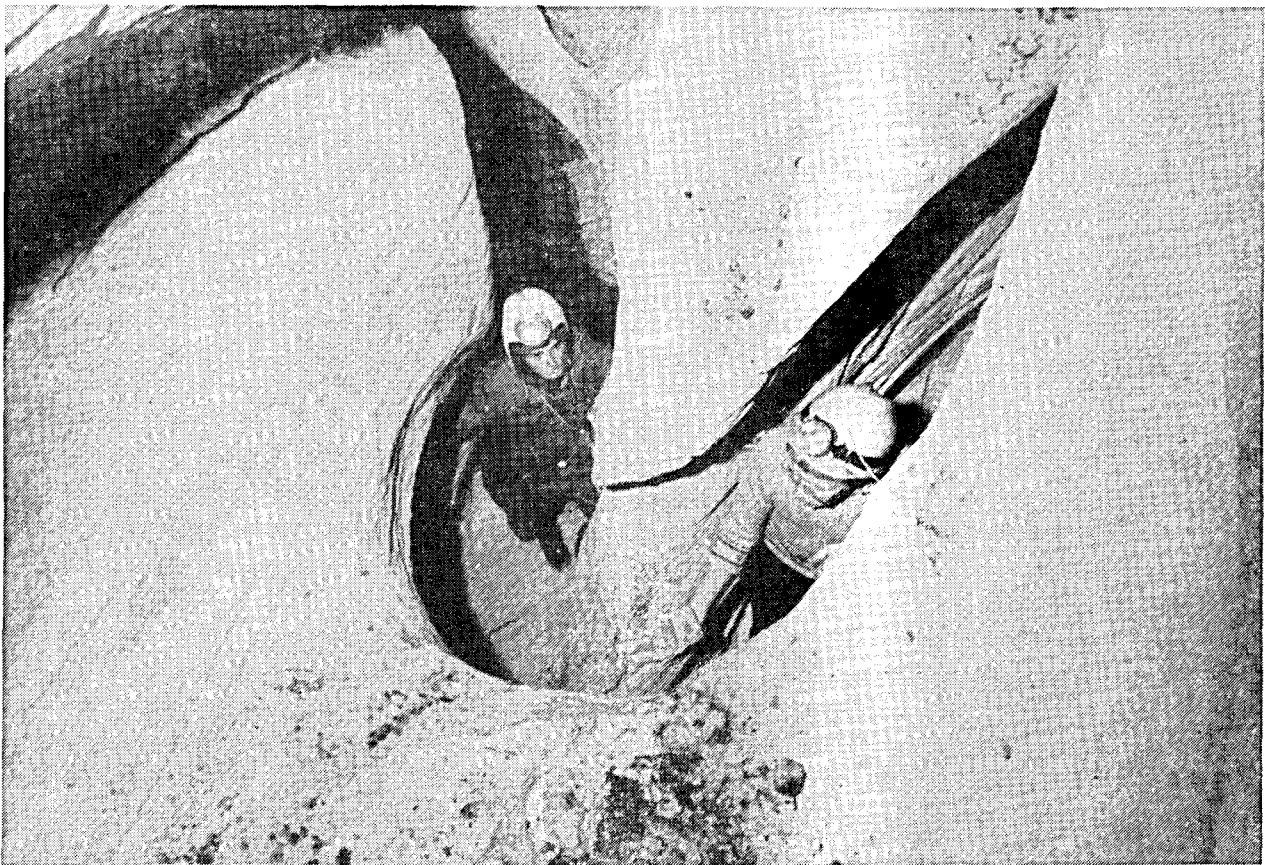


Foto 11. Typisk vados form i grotte. "Meandersving" i canyonen i "Meander-grotta" Glomdal. Fotografen står i en større canyon som den lille canyonen er skåret ned i på et senere tidspunkt.

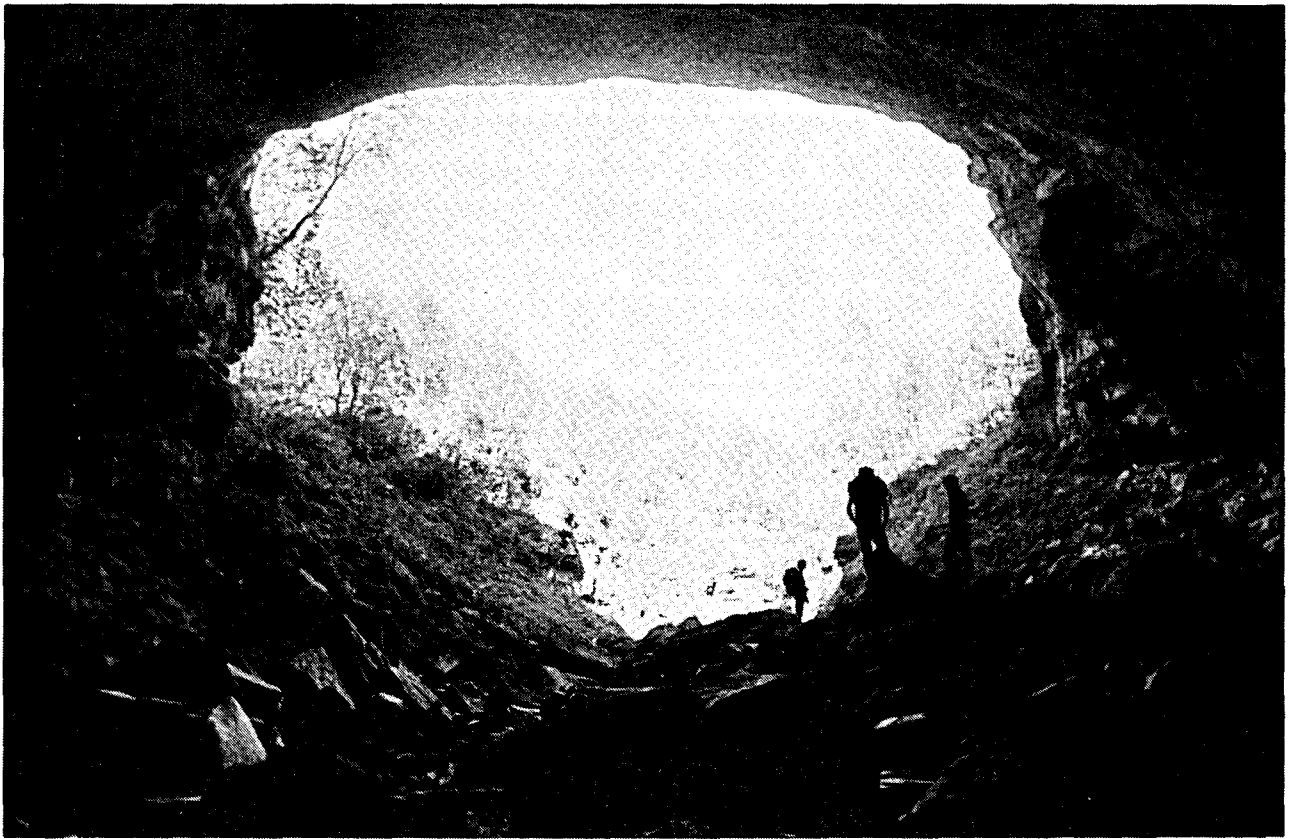


Foto 12. Grotte-inngang, Fauske.

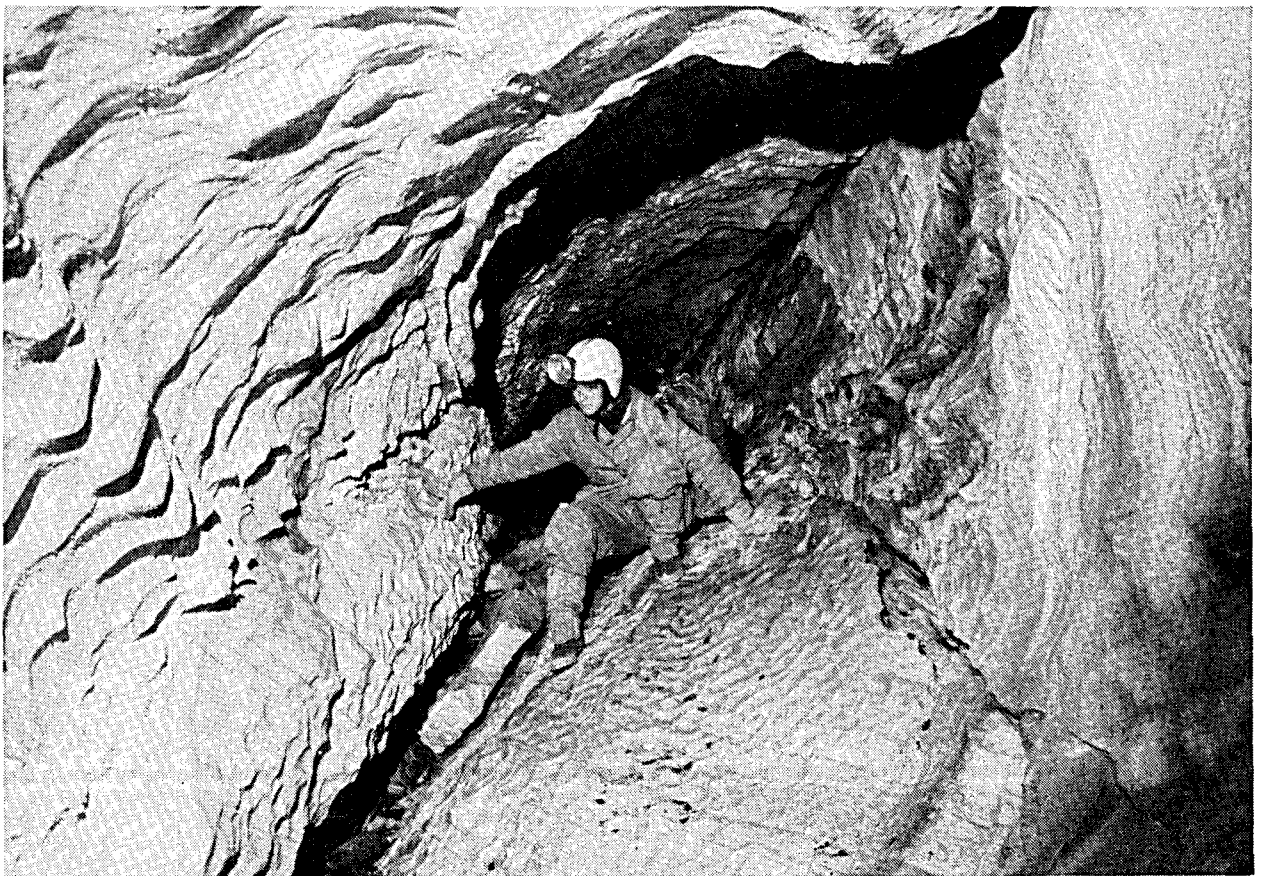


Foto 13. Trykkledning dannet etter ledespalte. Glomdal.
Phreatice tube developed along a guiding fracture

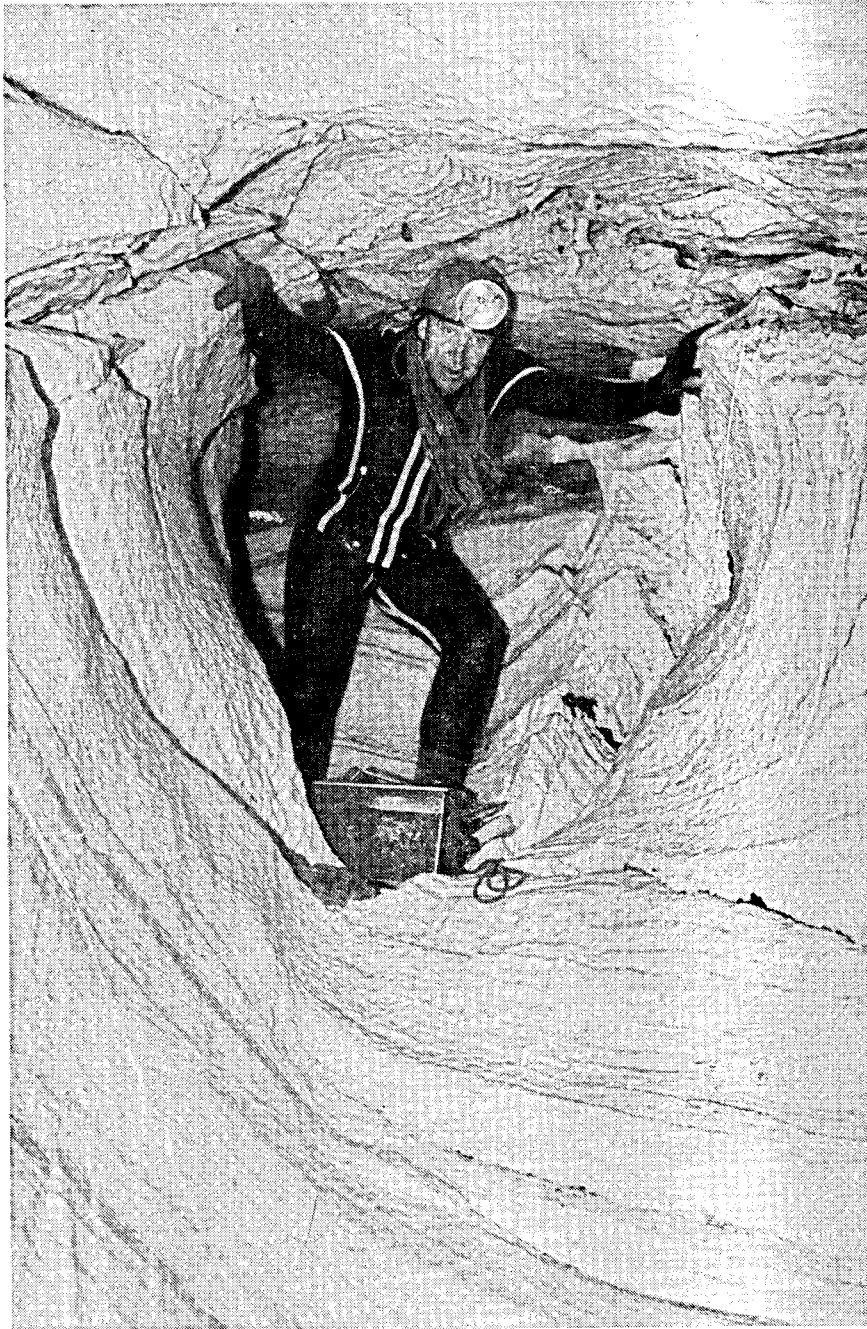


Foto 14. Vados canyon nedskåret fra benkeplanutvidelse, Glomdal.
Vadose canyon incised from a bedding plane enlargement.



Foto 15. Trykkledningsgrotte ved solifluksjonsblokkstrøm. Hamarnesgrotta, Rana.
Phreatic tube with underground solifluction stream of angular blocks.



Foto 16. Tak-pendanter dannet ved paragenese.
Roof pendants formed by paragenesis.



Foto 17. Paragenetisk halvør langs taket på trykkledning. Løvstadgrotta, Beiarn.
Paragenetic half-tube incised into the roof of a phreatic tube.

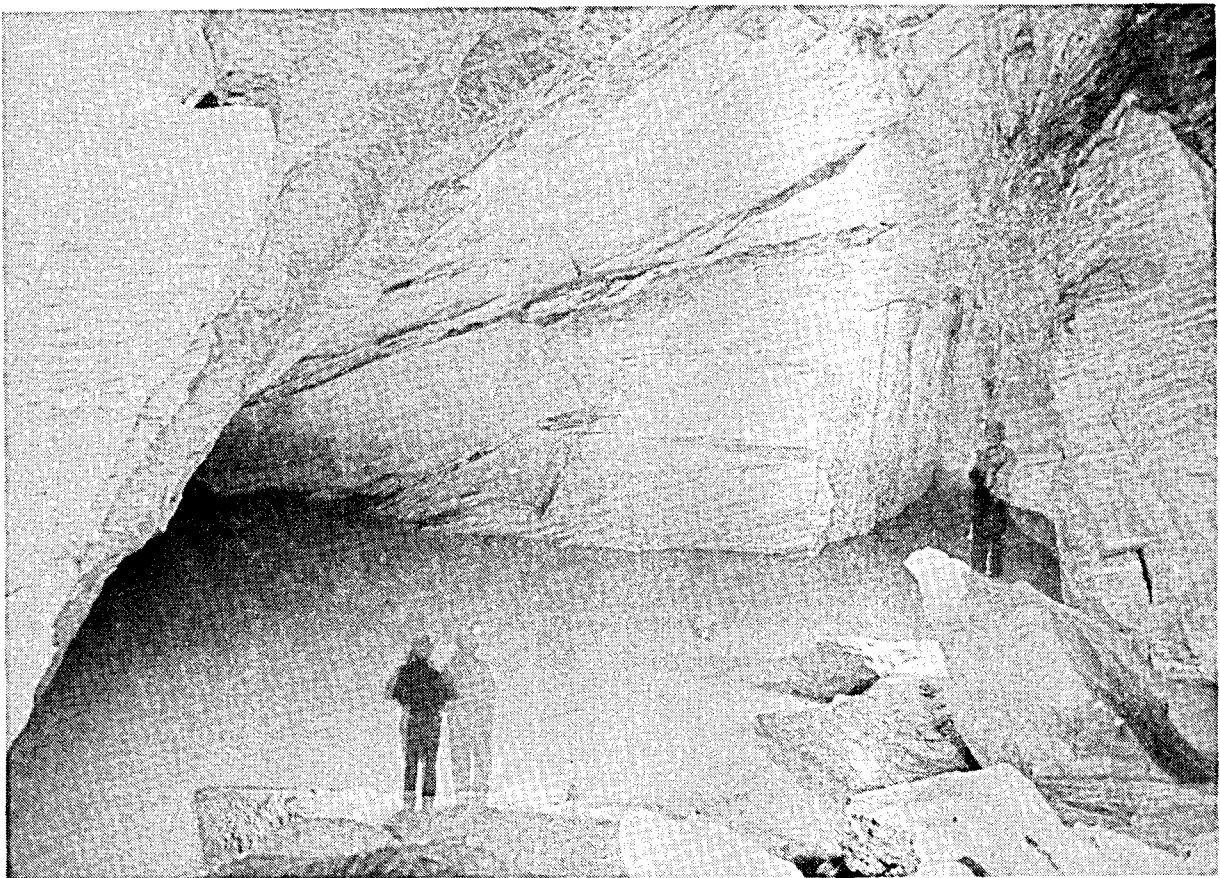


Foto 18. Kollapshall. "Aulaen" i Grøndalgrotta ved Okstindan. Store, kantete blokker, sandbanker og turbid (glasialt) vann.
Collapse chamber, "Aulaen" in the Grøndalgrotta river cave, Okstindan.
Large, angular blocks, sandbanks and turbid water from glacial rock flour.

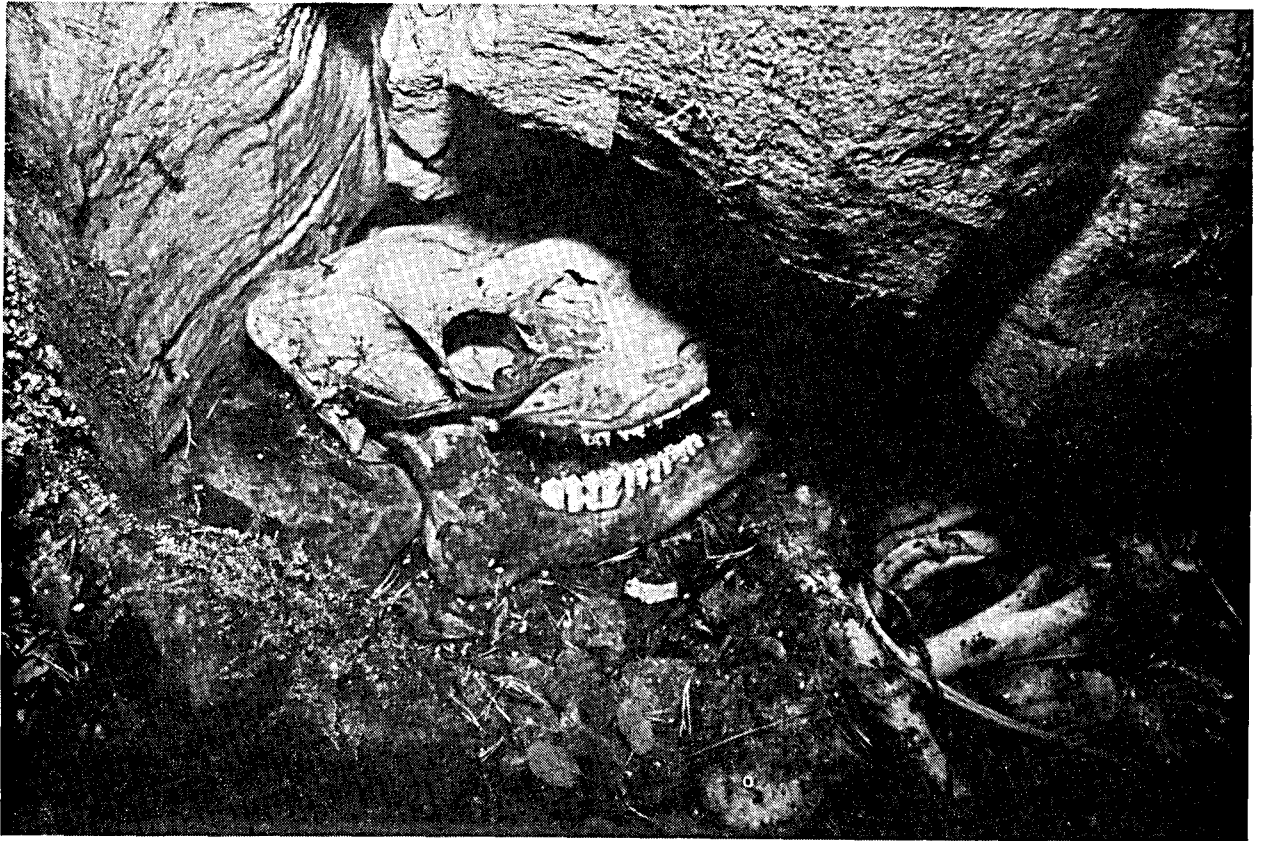


Foto 19. Natursjakter og sprekkdolinjer fungerer som naturlige dyregraver. Elgkalv i sprekkdoline, Skrimfjell. Surface shafts and joint dolines act as natural pit-fall traps. Juvenile Alces in a joint doline, Skrimfjell.



Foto 20. Næringsinput i grotte-økosystemer. Vårfluer som er spylt inn som larver, klekkes og omkommer på grotteveggene. Fosshølet, Pikhågan. Input of biological material in cave ecosystem. Insects washed in as larvaes, is hatched and dies on the passage walls.

PUBLISERTE RAPPORTER

Årsberetning 1975.

- Nr. 1 Naturvitenskapelige interesser i de vassdrag som behandles av kontaktutvalget for verneplanen for vassdrag 1975-1976. Dokumentasjonen er utarbeidet av: Cand.real. E. Boman, cand.real. P.E. Faugli, cand.real. K. Halvorsen. Særtrykk fra NOU 1976:15.
- Nr. 2 Faugli, P.E. 1976. Oversikt over våre vassdrags vernestatus. (Utgått)
- Nr. 3 Gjessing, J. (red.) 1977. Naturvitenskap og vannkraftutbygging. Foredrag og diskusjoner ved konferanse 5.-7. desember 1976. (Utgått)
- Nr. 4 Årsberetning 1976 - 1977. (Utgått)
- Nr. 5 Faugli, P.E. 1978. Verneplan for vassdrag. / National plan for protecting river basins from power development. Særtrykk fra Norsk geogr. Tidsskr. 31. 149-162.
- Nr. 6 Faugli, P.E. & Moen, P. 1979. Saltfjell/Svartisen. Geomorfologisk oversikt med verne vurdering.
- Nr. 7 Relling, O. 1979. Gaupnefjorden i Sogn. Sedimentasjon av partikulært materiale i et marint basseng. Prosjektleder: K. Nordseth.
- Nr. 8 Spikkeland, I. 1979. Hydrografi og evertebratfauna i innsjøer i Tovdalsvassdraget 1978.
- Nr. 9 Harsten, S. 1979. Fluviatgeomorfologiske prosesser i Jostedalsvassdraget. Prosjektleder: J. Gjessing.
- Nr. 10 Bekken, J. 1979. Kynna. Fugl og pattedyr. Mai - juni 1978.
- Nr. 11 Halvorsen, G. 1980. Planktoniske og littorale krepsdyr innenfor vassdragene Etna og Dokka.
- Nr. 12 Moss, O. & Volden, T. 1980. Botaniske undersøkelser i Etnas og Dokkas nedbørfelt med vegetasjonskart over magasinområdene Dokkfløy og Rotvoll/Røssjøen.
- Nr. 13 Faugli, P.E. 1980. Kobbeltutbyggingen - geomorfologisk oversikt.
- Nr. 14 Sandlund, T. & Halvorsen, G. 1980. Hydrografi og evertebrater i elver og vann i Kynnavassdraget, Hedmark, 1978.
- Nr. 15 Nordseth, K. 1980. Kynna-vassdraget i Hedmark. Geo-faglige og hydrologiske interesser.
- Nr. 16 Bergstrøm, R. 1980. Sjøvatnområdet - Fugl og pattedyr, juni 1979.
- Nr. 17 Årsberetning 1978 og 1979.
- Nr. 18 Spikkeland, I. 1980. Hydrografi og evertebratfauna i vassdragene i Sjøvatnområdet, Telemark 1979.
- Nr. 19 Spikkeland, I. 1980. Hydrografi og evertebratfauna i vassdragene på Lifjell, Telemark 1979.

- Nr. 20 Gjessing, J. (red.) 1980. Naturvitenskapelig helhetsvurdering. Foredrag og diskusjoner ved konferanse 17.-19. mars 1980.
- Nr. 21 Røstad, O.W. 1981. Fugl og pattedyr i Vegårsvassdraget.
- Nr. 22 Faugli, P.E. 1981. Tovdalsvassdraget - en fluvialgeomorfologisk analyse.
- Nr. 23 Moss, O.O. & Næss, I. 1981. Oversikt over flora og vegetasjon i Tovdalsvassdragets nedbørfelt.
- Nr. 24 Faugli, P.E. 1981. Grøa - en geofaglig vurdering.
- Nr. 25 Bogen, J. 1981. Deltaet i Veitastrondsvatn i Årøy-vassdraget.
- Nr. 26 Halvorsen, G. 1981. Hydrografi og evertebrater i Lyngdalsvassdraget i 1978 og 1980.

OPPDRAGRAPPORTER

- 76/01 Faugli, P.E. Fluviatgeomorfologisk befaring i Nyset-Steggjevassdragene.
- 76/02 Bogen, J. Geomorfologisk befaring i Sundsfjordvassdraget.
- 76/03 Bogen, J. Austerdalsdeltaet i Tysfjord. Rapport fra geomorfologisk befaring.
- 76/04 Faugli, P.E. Fluviatgeomorfologisk befaring i Kvånangselv, Nordbotnelv og Badderelv.
- 76/05 Faugli, P.E. Fluviatgeomorfologisk befaring i Vefsnas nedbørfelt.
- 77/01 Faugli, P.E. Geofaglig befaring i Hovdenområdet, Setesdal.
- 77/02 Faugli, P.E. Geomorfologisk befaring i nedre deler av Laksågas nedbørfelt, Nordland.
- 77/03 Faugli, P.E. Ytterligere reguleringer i Forsåvassdraget - fluviatgeomorfologisk befaring.
- 78/01 Faugli, P.E. & Halvorsen, G. Naturvitenskapelige forhold - planlagte overføringer til Sønstevatn, Imingfjell.
- 78/02 Karlsen, O.G. & Stene, R.N. Bøvra i Jotunheimen. En fluviatgeomorfologisk undersøkelse. Prosjektledere: J. Gjessing & K. Nordseth.
- 78/03 Faugli, P.E. Fluviatgeomorfologisk befaring i delfelt Kringlebotselv, Matrevassdraget.
- 78/04 Faugli, P.E. Fluviatgeomorfologisk befaring i Tverrelva, sideelv til Kvalsundelva.
- 78/05 Relling, O. Gaupnefjorden i Sogn. (Utgått, ny rapport nr. 7 1979)
- 78/06 Faugli, P.E. Fluviatgeomorfologisk befaring av Øvre Tinnåa (Tinnelva).
- 79/01 Faugli, P.E. Geofaglig befaring i Heimdalen, Oppland.
- 79/02 Faugli, P.E. Fluviatgeomorfologisk befaring av Aursjø-området.
- 79/03 Wabakken, P. Vertebrater, med vekt på fugl og pattedyr, i Tovdalsvassdragets nedbørfelt, Aust-Agder.
- 80/01 Brekke, O. Ornitologiske vurderinger i forbindelse med en utbygging av vassdragene Etna og Dokka i Oppland.
- 80/02 Gjessing, J. Fluviatgeomorfologisk befaring i Etnas og Dokkas nedbørfelt.
Engen, I.K. Fluviatgeomorfologisk inventering i de nedre delene av Etna og Dokka. Prosjektleder: J. Gjessing.
- 80/03 Hagen, J.O. & Sollid, J.L. Kvartærgeologiske trekk i nedslagsfeltene til Etna og Dokka.
- 80/04 Faugli, P.E. Fyrde kraftverk - Fluviatgeomorfologisk befaring av Stigedalselv m.m.