

NGU Rapport 97.115

**Potensialet for mineralske
råstoffer på fastlandet**

Rapport nr.: 97.115		ISSN 0800-3416	Gradering: <i>Åpen</i>
Tittel: Potensialet for mineralske råstoffer på fastlandet			
Forfatter: Bjørlykke, A., Karlsen, T.A., Sandstad, J.S.		Oppdragsgiver: Saga Petroleum ASA	
Fylke:		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 31 + 4 vedlegg	Pris: kr. 204,-
		Kartbilag: -	
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 08.07.1997	Prosjektnr.: 2725.00	Ansvarlig: <i>[Signature]</i>
<p>Sammen drag:</p> <p>Norsk bergindustri vokser med ca. 8% pr. år, og lønnsomheten er i bedring. Spesielt går de fleste industrimineralbedrifter meget godt, med lønnsomhet blant de beste innenfor industrivirksomhet. Det er mange gode muligheter for investeringer, og det som preger industrien er tålmodige eiere. Et unntak er gullprospektering og gullgruvedrift, hvor det er store svingninger i markedet. Her er mulighetene for raske fortjenester gode, noe som merkes godt på interessen for disse aksjene det siste året.</p> <p>Mineraler som petroleum er helt nødvendige råstoffer i et moderne samfunn. Selv en fortsatt utvikling innen datateknologien vil ikke overflødiggjøre våre behov for maling, porselen, glass, papir plast, byggematerialer etc. Vi forventer derfor en fortsatt vekst innen dette området i årene fremover.</p> <p>NGU kan anbefale SAGA å investere i industrimineraler eller gull. En satsing på industrimineraler er et strategisk valg hvor en ser det som naturlig å benytte seg av sin kompetanse innen leting og utnyttelse av naturressurser. Lønnsomheten innen petroleum og mineraler er ofte i utakt, og en spredning av investeringene kan derfor være en fordel. Nye materialer vil være et spennende felt i årene fremover. Vi vet at både hydrokarboner og mineraler vil inngå og ofte sammen i de nye materialene.</p> <p>Gullprospektering gir mulighet for høy avkastning, men risikoen er stor. SAGA bør vurdere opprettelse av et datterselskap med formål gullprospektering eller eventuelt gå inn i eksisterende aksjeselskaper med dette formål.</p>			
Emneord: Fagrapport	Industrimineraler	Malmgeologi	

INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE.....	1..
SAMMENDRAG.....	2..
1. PERSPEKTIVANALYSE AV NORSK BERGINDUSTRI.....	3
NORSK BERGVERKSNÆRING - ET VEKSTOMRÅDE.....	3
2. INDUSTRIMINERALER.....	5..
2.1. LETESTAUS FASTLANDET	5..
Rutil.....	6..
Ilmenitt.....	6..
Kalsiumkarbonat og dolomitt	6.
Talk	6..
Superren kvarts.....	7..
Kvartsitt	7..
Anortositt	7..
Olivin	7..
Andre industrimineralprosjekter.....	7.
2.2. INDUSTRIMINERALER I PETROLEUMSPRODUKTER	8
Generelt om fillere	8..
Mineralfillere i plastprodukter.....	10
Mineralfillere i maling	12
Gummi-produkter.....	13
Pigmenter.....	13.
De viktigste filler-mineraler	14
Talk	15..
Glimmer.....	16.
Barytt	19..
2.3. SATSINGSOMRÅDER INDUSTRIMINERALER	20
3. MALM.....	22..
3.1. LETESTATUS FASTLANDET	22
3.2. GULLPROSPEKTERING.....	24
Gullmalmdannelse	24
Prospekteringsmodeller.....	26
3.3. SATSINGSOMRÅDER GULL.....	26
4. KOSTNADSOVERSLAG GULLPROSPEKTERING MØRE.....	28
KOSTNADSOVERSLAG.....	28
Geologi.....	28.
Geokjemi.....	28.
LITTERATUR.....	30.

Vedlegg:

1. Gold mineralization in Fennoscandia - an overview (Sundblad & Ihlen)
2. Geologic background for collision, exhumation and reactivation in western Norway (Eide)
3. The Western Gneiss Region: Structural setting and the potential for gold mineralisation (Roberts)
4. Gull i Norge (Ihlen).

SAMMENDRAG

Norsk bergindustri vokser med ca. 8% pr. år, og lønnsomheten er i bedring. Spesielt går de fleste industrimineralbedrifter meget godt, med lønnsomhet blant de beste innenfor industrivirksomhet. Det er mange gode muligheter for investeringer, og det som preger industrien er tålmodige eiere. Et unntak er gullprospektering og gullgruvedrift, hvor det er store svingninger i markedet. Her er mulighetene for raske fortjenester gode, noe som merkes godt på interessen for disse aksjene det siste året.

Mineraler som petroleum er helt nødvendige råstoffer i et moderne samfunn. Selv en fortsatt utvikling innen datateknologien vil ikke overflødiggjøre våre behov for maling, porselen, glass, papir plast, byggematerialer etc. Vi forventer derfor en fortsatt vekst innen dette området i årene fremover.

NGU kan anbefale SAGA å investere i industrimineraler eller gull. En satsing på industrimineraler er et strategisk valg hvor en ser det som naturlig å benytte seg av sin kompetanse innen leting og utnyttelse av naturressurser. Lønnsomheten innen petroleum og mineraler er ofte i utakt, og en spredning av investeringene kan derfor være en fordel. Nye materialer vil være et spennende felt i årene fremover. Vi vet at både hydrokarboner og mineraler vil inngå og ofte sammen i de nye materialene.

Gullprospektering gir mulighet for høy avkastning, men risikoen er stor. SAGA bør vurdere opprettelse av et datterselskap med formål gullprospektering eller eventuelt gå inn i eksisterende aksjeselskaper med dette formål.

Trondheim, den 8.juli 1997

Arne Bjørlykke
adm.dir.

1. PERSPEKTIVANALYSE AV NORSK BERGINDUSTRI

NORSK BERGVERKSNÆRING - ET VEKSTOMRÅDE

Norsk bergindustri har i de siste tyve årene vært inne i en kraftig omstilling, som snart er fullført. Fra en næring som helt var dominert av metallmalmer er produksjonen av industrimineraler nå dominerende (Fig.1). Verdiskapningen innen industrimineraler er høyere enn for gjennomsnittet i all industri i Norge og bedriftene er blant de mest lønnsomme. Senter for økonomisk analyse, ECON, laget i 1996 en perspektivanalyse for norsk bergverksnæring (se vedlagte ECON-rapport).

ECON trekker frem tre viktige kjennetegn ved næringen:

- **Kapitalintensiv:** Bak hver sysselsatt i bergverksnæringen står det en realkapital på 1,7 mill. kr, mens det tilsvarende for industrien var 0,8 mill. kr (1991).
- **Eksportorientert:** Over halvparten av produksjonen går til eksport, mens næringen genererer relativt lite import.
- **Variierende lønnsomhet:** Det er stor variasjon i lønnsomhet både mellom enkelte deler av næringen og enkeltbedrifter. Dette er naturlig i en næring hvor forekomstenes størrelse og kvalitet er helt avgjørende for lønnsomhet.

Alle næringer i Norge har for tiden vekst, men veksten innen industrimineralene var også stor på begynnelsen av nittitallet når veksten i resten av industrien på fastlandet var lav eller negativ. Industrimineraler blir brukt i en rekke forbruksprodukter som papir, plast, maling etc og veksten innen industrimineraler er derfor på verdensbasis nært knyttet opp mot bruttonasjonalproduktet. Vi har i de senere år opplevd en vekst på fra 5 til 7 prosent i gjennomsnitt og denne vekstraten har gitt en god ramme for de fleste bedrifter. Vi har ved siden av et økende forbruk sett et sterkere krav til kvalitet på mineralproduktene. Dette har gjort at metamorfe mineralforekomster i Norge har styrket sin markedsposisjon.

Investeringer i bergverksindustrien kan gjøres ut fra en rekke forskjellige motiver, fra å benytte egen kompetanse innen geologi, markedskunnskap innen produkter med mineraler eks. plast, til rene finansielle årsaker. Mineralindustrien er vanligvis ikke området for de kjappe investeringer og etterfølgende salg. De fleste bedrifter innen bergverk er et resultat av langsiktige investeringer i teknisk utvikling, og for en del produkter er det viktig for bedriftene å opparbeide seg markedsrett. Det kan derfor ta ti til femten år før bedriftene lager store overskudd.

Et unntak er metallgruver hvor markedet er regulert gjennom metallbørser og hvor markedsføring ikke er noe problem. Strukturen i malmsbransjen er også forskjellig fra andre mineraliske råstoffer, og en viktig forskjell er juniorselskaper som arbeider innen prospektering, men som svært ofte selger forekomstene til store selskaper før drift blir satt i gang. Dette skaper et marked for kjøp og salg av forekomster som gjør at investeringene ikke nødvendigvis er langsiktige.

En av de større utfordringene bergverksnæringen har er å forbedre miljøinntrykket folk har fordi folk flest forbinder gruvedrift med slagghauger og farlige og stygge brudd og gruveåpninger. Næringen har i dag kommet langt med å redusere utslipp og etterbruk av arealer er nå en viktig del av brytningsplanene, men en mer offensiv informasjon om miljøarbeidet er nødvendig.

Mineraler er et helt nødvendig råstoff i et moderne samfunn. Selv en fortsatt og sterk utvikling innen datateknologien vil ikke overflødiggjøre våre behov for hus, porselen, glass etc. Nye behov vil fremtre sterkere, som ultraren kvarts og mineraler i nye materialer som for eksempel laminater og keramer vil få en økende betydning. Vi ser behovet for flere bedrifter ledet av teknologer som vil satse på brede forskningsmiljøer i utviklingen av nye materialer. En del forskning er kanskje ikke lønnsom ut i fra rentesrente regning, men den kan være nødvendig for at bedriften overlever i fremtiden.

Det er sikkert mulig å kalkulere risikoen ved gullprospektering eller mineralleting, men risikovurderinger har ikke vært mye benyttet. Vi vet at noen selskaper tjener gode penger på sin prospektering og at andre taper. Industrien må ha nye forekomster til å erstatte de som tømmes og da vil nye funn ha en markedsverdi, som selvsagt vil stige hvis tilgangen på nye forekomster avtar. Malmleting er derfor en konkurranse hvor den dyktigste og heldigste vinner. En risikovurdering kan derfor erstattes av en evaluering - "er vår prospekteringsgruppe blant de dyktigste i markedet?"

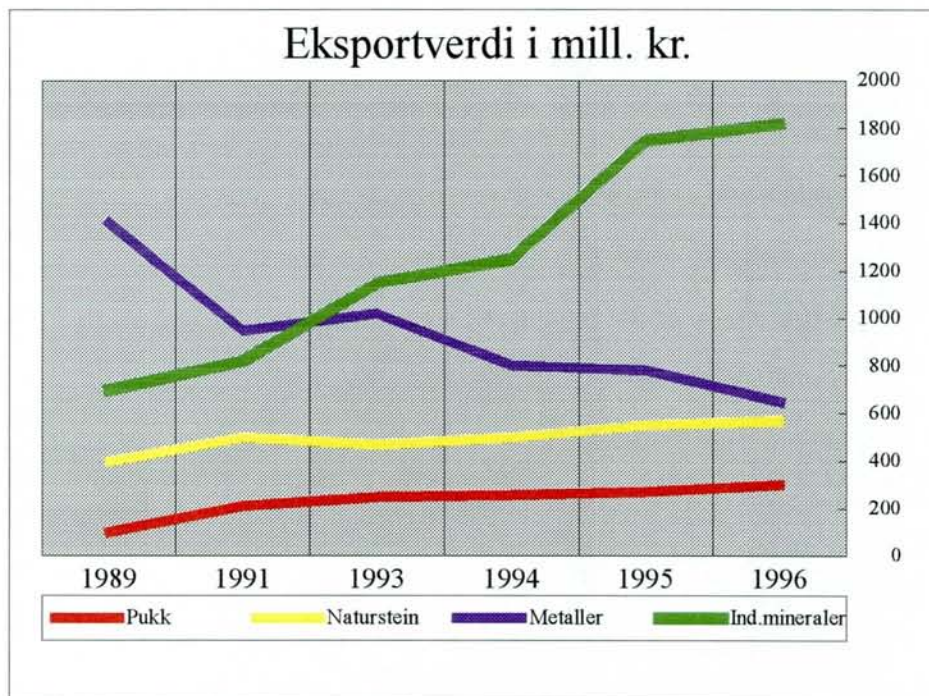


Fig.1. Trender i mineralråstoffindustrien

2. INDUSTRIMINERALER

2.1. LETESTAUS FASTLANDET

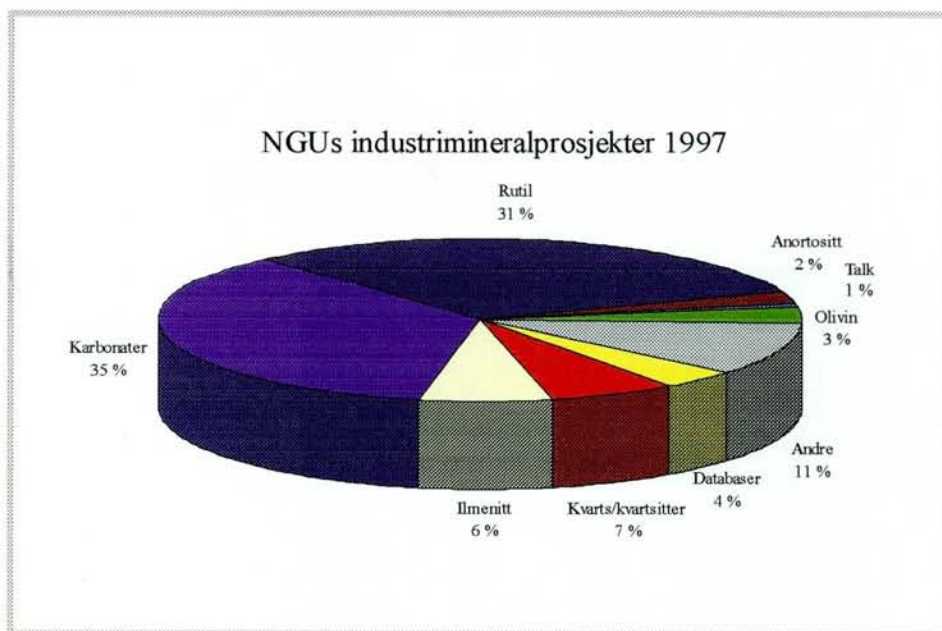
Den største satsingen på industrimineraler for tiden er på rutil hvor den amerikanske bedriften DuPont/Conoco i samarbeid med NGU gjør detaljundersøker av rutilforekomster i Sunnfjord. Undersøkelsen, som har pågått siden 1992, har foreløpig gitt lovende resultater ettersom én av forekomstene viser seg å være svært lovende. Arbeidet med denne forekomsten, Engebø-forekomsten, er blitt intensivert og i sommer utføres relativt detaljerte boringer.

Ellers kan karbonater trekkes fram som et satsningsområde innenfor industrimineraler. Åpning av to nye gruver, Hestvika i Nord-Trøndelag (Norkalsitt AS) og Velfjord i Nordland (Norsk Marmor AS), samt en økning i produksjonen av kalsiumkarbonat-slurry ved Hustadmarmor AS gjenspeiler et stort behov og en stor interesse for dette mineralet for tiden.

Når det gjelder leting etter nye karbonatforekomster har NGU en stor virksomhet på gang. Av et totalt budsjett på ca. 15 millioner innenfor industrimineraler (Fig. 1), er ca. 1/3 av ressursene allokert til et landsomfattende karbonatprosjekt. Hensikten er å kartlegge og karakterisere karbonat-provinser og karbonat-forekomster over de viktigste steder i landet. For tiden er dette arbeidet lokalisert til Nordland og Troms.

NGU er involvert i det meste av letevirkomheten som foregår på industrimineral-siden i Norge, og beskrivelsen nedenfor vil derfor stort sett dreie seg om NGU-prosjekter.

En langsiktig målsetning for NGU innenfor industrimineraler er å tilstrebe seg høy kompetanse innenfor mineralkarakterisering. Nylig har en gått til innkjøp av et meget avansert massespektrometer av typen ICP-MS-laser-ablasjon. Med dette instrumentet kan en gjøre svært detaljerte analyser av mineralers sammensetning og oppbygging.



Figur 2. Oversikt over NGU's satsing på ulike typer industrimineraler. Totalkostnadene er på ca. 15 millioner kroner.

RUTIL

Rutil er et Ti-oksyd med den enkle kjemiske formelen TiO_2 . Hovedanvendelsen er som hvitt TiO_2 pigment. NGU har siden 1978 vært mer eller mindre virksomme innenfor rutil. I 1992 lyktes det å få etablert et samarbeid med det amerikanske selskapet DuPont om norske rutilforekomster. Fra 1995 ble det fokusert sterkt på Engebøfjellet-forekomsten i Sunnfjord. Dette samarbeidet har vært meget fruktbart og det er gode muligheter for at Engebøfjellet-forekomsten vil bli satt i drift om få år, og da framstå som en av de største og viktigste gruver i landet.

ILMENITT

I likhet med rutil er ilmenitt et Ti-førende mineral og har den kjemiske formelen $FeTiO_3$. Norge er forholdsvis stor på ilmenitt med den driften som foregår på Tellnes i Rogaland av Titania AS.

NGU har de siste 2 år hatt samarbeid med Titania AS om leting etter og karakterisering av forekomster i deres nærområder samt forekomsten som det i dag drives dagbrudd i.

Ellers har NGU nylig hatt en landsomfattende ilmenitt-undersøkelse i samarbeid med Titania AS og AS Olivin.

KALSIMUMKARBONAT OG DOLOMITT

Uttak av kalsium-karbonat er det mest omfattende innen industrimineraler i Norge, - både når det gjelder antall (> 14 stk.) og tonnasje (> 5.5. mill. tonn). Ca. 85 % kalsium-karbonat inngår i sement, og sement-industrien med Norcem i spissen står for de største uttak. Den sveitsiske bedriften Pluss - Staufer AG (eller OMYA) eier, sammen med den norske Hustad-gruppen, foredlingsfabrikken Hustadmarmor A/S ved Elnesvågen. Ved denne fabrikkens foredles høy-kvalitets kalsium-karbonat slik at det kan benyttes som filler i papir. Byggingen av denne fabrikkens er den viktigste begivenheten som har skjedd innenfor industrimineraler i Norge de senere år. I dag er det en av de aller største fabrikkene i sitt slag i verden. Hustadmarmor AS, et privateid selskap, samt dets underselskaper står for leveransen av råstoffet til fabrikkens. Den nylig åpnete gruva ved Hommelstø i Velfjord vil i år levere ca. 1 million tonn kalsium-karbonat. Det er planer om å åpne ytterligere tre brudd i Velfjord. NGU, som i lengre tid har drevet med undersøkelse av forekomstene i Velfjord, bidro sterkt til at driften i Velfjord ble åpnet. En annen nylig oppstartet gruve er lokalisert til Hestvika i Nord-Trøndelag. Bedriften Norkalsitt AS driver her ei underjordsgruve og leverer til English China Clay (ECC) i Sverige og England. Ellers er det en lang rekke andre uttak av kalsium-karbonat, først og fremst lokalisert til Nord-Trøndelag og Møre.

Når det gjelder dolomitt finnes det for tiden fire større dagbrudd/gruver i drift i Norge; Franzefoss Bruk AS' dagbrudd ved Hekkelstrand i Ballangen, Norwegian Holding AS' dagbrudd ved Løgavlen i Fauske og ved Seljeli ved Mosjøen samt deres underjordsgruve ved Hammerfall i Sørfold.

Det skjer en rivende utvikling innenfor kalsium-karbonat, både innenfor prosessering, prospektering og markedsetablering. Når det gjelder den tekniske utviklingen er det slik at en med stor grad av sikkerhet kan si at mange forekomster som ikke er drivbare i dag, vil bli drivbare om noen år.

NGU har gjennom sine samarbeidprosjekter med Nord-Trøndelag og Nordland fylke og industribedrifter påvist/undersøkt flere forekomster av karbonat-bergarter som er satt i drift eller som vil bli sitt igang drift på i nær fremtid. I 1997 er vi i ferd med å etablere et samarbeid med Franzefoss Bruk AS om dolomittforekomster rundt Ballangen, og med Norkalsitt AS om kalsium-karbonat-forekomster rundt Hestvika. Ellers har vi et utbredt samarbeid med Nordland og Troms fylkeskommuner innenfor karbonat-råstoffer.

TALK

I samarbeid med Norwegian Talc AS gjøres det undersøkelser av malmkvalitet i en forekomst som ble funnet i 1991 i nærheten av deres eksisterende gruve i Altermark ved Mo i

Rana. Oppdagelsen av forekomsten kom etter magnetiske målinger gjort fra helikopter av NGU og påfølgende modellering og boring. Fra og med 1998 er det planer om å etablere et samarbeidsprosjekt med Nordland fylke og Norwegian Talc AS om talkforekomster langs Helgelandskysten.

SUPERREN KVARTS

Et prosjekt innen superren kvarts er nylig startet. Prosjektet har en viktig FoU-komponent med en høy andel mineral karakterisering med bruk av blant annet HP-ICP-MS. I 1996 ble det gjort et samarbeidsprosjekt med Norwegian Crystallites om deres forekomst ved Drag i Tysfjord. Fra og med dette år samarbeides det med North Cape Minerals AS om potensielle bergarter som inneholder superren kvarts i sørlige deler av landet.

KVARTSITT

Det er etablert et samarbeid med bedriftene Elkem Salten AS, Finnfjord smelteverk AS og Rana metall om kvartsittressurser innen fylkene Troms og Nordland. Norge importerer relativt store mengder kvartsitt og kvarts-sand, noe som tilsynelatende er unødvendig i et kvarts-rikt land som Norge. Tidligere undersøkelser i Finnmark førte til utvikling av en forekomst som idag drives av Elkem.

ANORTOSITT

Anortositt er en meget interessant bergart fordi den er monomineralsk og fordi den har mange potensielle bruksområder. Et stort prosjekt, Anortal-prosjektet, ble gjennomført i regi av Elkem og Årdal og Sunndal Verk i årene 1976-1987. De siste årene har NGU samarbeidet med Sogn og Fjordane og Hordaland fylkeskommuner og med bedriftene AS polymer, Gudvangen Stein AS og Borgestad fabrikker.

OLIVIN

NGU gjør i perioden 1995-1998 et oppdrag for AS Olivin som går ut på å kartlegge Norges olivin-forekomster.

ANDRE INDUSTRIMINERALPROSJEKTER

Kjerneprosjekter

I Prosjektet «Norges Mineraler» jobbes det med å oppdatere og forbedre en tidligere bok skrevet av Neumann med nye opplysninger.

I prosjektet «Strategisk berggrunnskartlegging» gjøres kartlegging innenfor områder med stor interesse m.h.t. industrimineraler.

Samarbeidsprosjekter

Et samarbeidsprosjekt ble etablert i 1996 mellom Rogaland fylke og NGU som har som formål å kartlegge mineralske ressurser i området rundt Sokndal.

I samarbeid med Troms fylkeskommune gjennomføres et forprosjekt innen industrimineraler som skal gi en oversikt over hva som har vært av aktivitet tidligere og gi en pekepinn på hva en skal satse på i Troms i det oppstartede fylkesprogrammet.

2.2. INDUSTRIMINERALER I PETROLEUMSPRODUKTER

GENERELT OM FILLERE

Industrimineraler inngår i en rekke viktige produkter, for eksempel papir, maling, plast, gummi, polymerer, keramikk, glass, asfalt, kosmetikk, bore slam, isolasjonsmaterialer. I denne rapporten vil de viktigste industrimineraler som inngår i «petroleumsproduktene» maling, plast, gummi og asfalt bli beskrevet (Tabell 1), med særlig vekt på de to førtsnevnte.

Det er ulike grunner til at industrimineraler inngår i disse produkter, men følgende er spesielt viktige:

- De bidrar til å redusere prisen på produktene
- De tilfører produktene ønskede egenskaper

Avhengig av hvorvidt og hvilke egenskaper som blir tilført benevnes industrimineralere som fillere, extendere, forsterkere, bstrykningsmidler, pitch control, pigmenter m.m..

I utgangspunktet ble fillere benyttet for å redusere prisen av produktet. Tremasse i papir og polymerer i plast og maling er nemlig dyrere enn mineralene. Mineraler er i denne sammenheng blitt tilført i den grad det har vært mulig uten å forringe kvaliteten av sluttproduktet. Kravene til slike fillere er at de har de egenskapene som skal til for å kunne brukes i størst mulig grad, f. eks. at de er kjemisk interte. Etterhvert har produsentene begynt å nyttiggjøre seg de egenskapene mineralene har. I slike tilfeller, som er mer vanlig idag, kan filleren betegnes som funksjonell filler. I likhet med vanlige fillere tilfører extender fillere masse og senker kostnadene, men kan også benyttes som en mer aktiv filler som erstatter dyrere additiver og tilfører produktet egenskaper slik som tetthet, hardhet, elastisitet m.m.. Forsterkende fillere kan også tilføre egenskaper som nevnt ovenfor, men innenfor plast er deres viktigste funksjon at de tilfører tensil styrke. Pigmenter er naturlige eller syntetiske, organiske eller ikke-organiske stoffer som blir tilsatt maling, plast, gummi og papir på grunn av sine optiske egenskaper. Den viktigste optiske egenskapen er at de kan tilføre produktet farge. Den mest omfattende bruk av pigmenter i petroleumsrelaterte produkter er i maling. En kort beskrivelse av pigmenter er derfor gjort under kapittelet om maling. Ellers inngår pigmenter både i plast og gummi og flere andre produkter.

Av industrimineraler som benyttes som filler kan en skille mellom naturlig opptredende og syntetiske typer. Eksempler på naturlig opptredende fillere er: asbest, barytt, bentonitt, kalkstein, leire, diatomitt, kaolin, feltspat, nefelin syenitt, glimmer, silika og talk. Syntetiske mineraler kan være for eksempel kjemisk utfelt kalsium karbonat (PCC), aluminium hydrat (fra bauxitt), og pyrogen og utfelt silika og silikater (Trivedi & Hagemeyer 1994).

I tillegg til de naturlige og de syntetiske mineralfillere, kan modifiserte fillere nevnes; det har i den senere tid blitt utviklet metoder for å modifisere mineraler slik at ønskede egenskaper oppnås. Det skilles her mellom fysisk og kjemisk modifikasjon samt bstrykning («coating») (Goodman, 1995).

Egenskaper som er viktige for mineraler som benyttes som fillere, er både de som er naturlige for mineralet, og egenskaper som framkommer etter prosessering, for eksempel hardhet, partikkelstørrelse, partikkelstørrelses-fordeling, partikkelform, spesifikk vekt, farge, refraktiv indeks og kjemiske egenskaper. Andre, mer spesielle, egenskaper som utnyttes er for eksempel elektriske egenskaper og smøre-egenskaper.

Tabell 1. Viktige mineral fillere som inngår i petroleumsrelaterte produkter (modifisert fra Trivedi & Hagemeyer, 1994).

FILLER	BRUK	SPEISIELLE EGENSKAPER	BEMERKNINGER	UTBREDELSE I NORGE
Asbest	Gulv dekke, plast, isolasjonsmateriale	Den mest fibrige mineral filleren. Brukes p.g.a. forsterkende egenskaper og for å kontrollere viskositet	Forbruk minsker drastisk, p.g.a. dets karsinogene egenskaper	Liten
Barytt	Gummi, maling og urethaner	Den mineral filleren som har størst egenvekt. Er inert.	Avtagende marked.	Liten
Diatomitt	Maling, papir, plast, pesticider, m.m.	Inert eller reaktivt silika avhengig av bruken, unik mikroskopisk struktur	Naturlige eller kalsinerte, nedmalt eller prosesserte kvaliteter benyttet som filler. Stort spenn m.h.t. kvalitet.	Liten
Feltspat og nefelinsyenitt	Maling, plast, «foam» gummi	Gjennomsiktig i plast, fargehemmende i maling, Kjemisk stabil	Hovedsakelig brukt i glass og keramikk	Stor
Kaolin	Papir, maling, klebemiddel, oljestoff, plast, gummi, blekk, pesticider	Hvit farge, lav kostnad, lav absorpsjon, utbredt.	70 % blir konsumert av papir - industrien. Avtagende markedsandel p.g.a. endrede prosesseringsmetoder som favoriserer en økning av «konkurrenten» kalkstein	Liten
Kalkstein	Asfalt, kunstgjødsel, insekticider, maling, plast, gummi, blekk, og mange andre.	Utbredt og billig, myke partikler, løselig i syre. Den mest utbredte filleren (dersom dolomitt er medregnet).	Store volumer av lav kvalitet er benyttet i bitumener, kunstgjødsel, og pesticider. Høyere kvaliteter er benyttet i maling, papir, plast, gummi m.m.	Stor
Glimmer	Takmateriale, maling, gummi, plast og tapet.	Unik struktur, elektriske egenskaper, benyttes til spesielle formål.	Mye av glimmermaterialet er biprodukter etter litium og feltspat-produksjon	Middelsstor
Talk	Maling, insekticider, takmateriale, gummi, asfalt, papir, kosmetikk, tekstiler	Myk, platestruktur, god tilslutning	Har viktige egenskaper for keramikk, støping, og mange andre.	Middels (se tekst)

Mengde og typer fillere som benyttes er en nøye avveining mellom kostnader på den ene siden og produkt egenskaper på den andre siden. Når det gjelder lav-kostnads, inerte fillere vil for liten mengde filler medføre et produkt som er dyrere å produsere. For stor mengde filler kan medføre en reduksjon av det ferdige materialets egenskaper.

Andelen filler i varierer etter hvilke produkter de inngår i. Det kan nok overraske de fleste at papir kan inneholde opptil 45 % filler, mens plast opptil 75-80 % filler (Bristow 1992).

Selv om en del av fillerne ikke tilfører produktet egenskaper, er det selvsagt viktig at de selv har egenskaper som gjør at de kan benyttes, slik som for eksempel at de er kjemisk inerte.

Bruken av industrimineraler som fillere forandres til en viss grad over tid, både hva angår type og mengde. Dette er avhengig av de ulike mineralers prisnivå (eks. Tabell 2) og egenskaper og sist, men ikke minst, tekniske nyvinninger på prosess-siden.

Tabell 2. Veiledende oversikt over priser i Europa på industrimineraler som benyttes i petroleumsrelaterte produkter (Industrial Minerals, Juni 1997). Prisene er omregnet fra pund og dollar. Prisvariasjoner innenfor hvert mineral reflekterer ulike kvaliteter.

MINERAL	PRIS (KR/TONN)
Talk	1411 - 3529
Kalsiumkarbonat, GCC	353 - 882
Kalsiumkarbonat, PCC	3941 - 4835
Kaolin - filler	588 - 882
Kaolin - bestrykningsmiddel	882 - 1411
Barytt	1647 - 2588
Glimmer	1765 - 10000
Jernoksyd-pigmenter	891 - 1604
Rutil (Australisk, min 95 % TiO ₂)	3565 - 3993

MINERALFILLERE I PLASTPRODUKTER

Plast er en av flere høy-polymer substanser og inkluderer både naturlige og kunstige substanser, forutenom gummi. Ved et eller annet stadium i dannelsesprosessen er plast flytbar, for eksempel ved tilførsel av varme eller trykk, til den får sin endelige form.

Basisen for plast er utviklet fra petroleum. Polymer er organiske substanser med høy molekylvekt, og som består av en lang kjede av repeterte enheter. Polymer er hovedsubstansen, og vanligvis den dyreste komponenten, i plast. Polymerer blir framstilt som pellets, granulater, pulver eller som væske og kalles da resiner. Resiner blir ikke brukt i denne tilstanden, men blir blandet med andre materialer («compounds»). De materialer som legges til resinene for å danne plast er additiver (f.eks. fargestoff, varme-/lys-stabilisatorer), fillere/forsterkere (f.eks. mineraler, glassfibre), og andre polymerer.

Det finnes idag mer enn 500 typer plast, fordelt på hovedklassene termoplast og termoset. Termoplast størkner ved avkjøling og kan smeltes og omformes på nytt. Termoset er i den fluide fasen kjemisk reaktiv og hardner ved videre reaksjoner. Ved påfølgende oppvarming vil den ikke få de samme flyte og omformings-egenskaper som termoplast. Termoplast, som de fleste plasttyper hvor mineral-fillere er benyttet tilhører, deles hierarkisk inn i ulike klasser basert på pris og bruk. Mineral-fillere er brukt i mer enn 20 resiner, men hovedsakelig (90 %) i typene polypropylen (PP), PA (polyamid), TPES (termoplast polyester) og PVC (polyvinyl klorid). De desidert viktigste av disse er PP og PVC.

Mineraler er tilsatt plast som tre typer: 1) fillere, 2) extendere, 3) forsterkere.

Når de blir tilsatt som fillere er det som regel for å redusere kostnadene ved framstilling av produktet. Fillere er inerte og tilfører ikke egenskaper til produktet, men kun nødvendig masse. Extendere tilfører produktet egenskaper slik som egenvekt, hardhet, elastisitet o.l. Forsterkere kan også tilføre egenskaper som nevnt ovenfor, men mer viktig er at de tilfører tensil styrke.

Det skjer en økende grad av overflatebehandling av mineral-fillere (O'Driscoll 1993). Hensikten er å forsterke bindingene mellom mineralene og polymerene og forbedre dispersiviteten eller for å tilføre egenskaper. Overflatebehandlings-midler kan være for eksempel stearater, silaner, zircoaluminater og titanater.

Nedenfor er det gitt en oversikt over plasttyper og hvilke mineraler som oftest er benyttet i disse (Tabell 3), samt eksempler på hvor store mengder av mineraler som benyttes i plastindustrien (Tabell 4) og hvor store mengder som inngår i de enkelte plastprodukter (Tabell 5).

Tabell 3. Hovedtyper industrimineraler benyttet i plast. Fra O'Driscoll, 1993.

MINERAL	RESIN (= PLASTTYPE)	FUNKSJON/BEMERKNINGER
Alumina trihydrat	ABS, TPES, LDPE, PVC, epoxy, fenoler, PU	Kilde: bauxitt; extender, flammehemmende, røyk-hemmende
Barytt	PEU, PU	filler og hvitt pigment; øker egenvekten; øker friksjonell og kjemisk motstand
Kalsium karbonat	ABS, flouropplast, polyolefiner, PP, PS, PVC, epoxy, fenol, TPES, PU	mest benyttede filler; øker «flexural modulus» og overflate-«finish»; kontrollerer viskositeten
Feltspat/nefelin syenitt	Akryl, celluloser, PP, PS, PVC, epoxy, PEU	spesial-filler, lett å våte og å få dispergert; muliggjør transparens; fysisk og kjemisk resistent
Kaolin	Nylon, polyolefiner, PU, PVC, PEU, TPES	mye benyttet; hydrerte eller kalsinerte typer, reologisk modifikator, kostbesparende; forbedrer «finish»
Glimmer	ABS, flouropplast, nylon, PC, TPES, PP, polyolefiner, termoset	Forsterker; øker dielektriske, termale og mekaniske egenskaper
Silika	ABS, polyolefiner, PS, PVC, TPES, PU, epoxy	Fortykket væsken; Tixotropis middel; «flating» middel; hindrer «plateout» i PVC
Talk	Nylon, polyolefiner, PVC, fenol, PU, PS, PP	mye benyttet; øker stivheten; øker tensil styrke, og øker motstanden mot «creep»
Wollastonitt	Nylon, PC, TPES, PS, polyolefiner, termoset	øker styrken; nedsetter adsorpsjon av fukt; øker varme- og størrelses stabiliteten, forbedrer elektriske egenskaper, forsterker

Forkortelser:

ABS = acrylonitrile-butadiene-styrene polymer
 TPES = thermoplastic polyester
 LDPE = low-density-polyethylene
 PVC = polyvinylchloride
 PU = polyurethane
 PEU = polyethylene unsaturated
 PP = polypropylene
 PS = polystyrene
 PC = polycarbonate

 Tabell 4. Estimert av forbruk av mineral-fillere i plast i Europa. Etter O'Driscoll (1993).
 Forkortelser: GCC = nedmalt naturlig kalkstein («Ground calcium carbonate»), PCC = kjemisk utfelt calcium carbonate («Precipitated calcium carbonate»).

TYPE	FORBRUK
Kalkstein, GCC	1.000.000
Kalkstein, PCC	90.000
Talk	80-90.000
Wollastonitt	8-10.000
Leire (hovedsakelig kaolin)	10-15.000
Glimmer	< 4.000
Andre	40-50.000
Totalt	1.232-1.259.000

Tabell5. Eksempler på mengde av industrimineraler i ulike typer plast. Etter O'Driscoll (1994).

MINERAL	PLAST/PRODUKT	TILFØRT (VEKT-%)
Alumina trihydrat	PVC wire og kabler	9-50 %
Kalsiumkarbonat	Fleksibel PVC	17-38 %
	Fast PVC, drikkevann-ledninger	1-5 %
	Andre PVC - ledninger	30 %
	PVC gulv flis	44-80 %
Feltspat og nefelinsyenitt	PP	30-40 %
	Fast PVC film	23 %
Kaolin (coated)	Fleksibel PVC	33 %
	Nylon-deler i biler (f.eks. hjulkapsler), hodelampeholdere	20-40 %
Talk	PP	40 %
	HDPE	20-30 %
	PS	30-40 %
Wollastonitt	Nylon	50 %
	PP	23-28 %

Trender innen plast

Det er tidligere (f.eks. O'Driscoll 1993), spådd en lys framtid for plasttypene polypropylen og polyamid, men kun en lavt stigende økonomisk vekst tilsammen for de viktigste mineralholdig plast-typer. Veksten av polypropylen har vært på 11 % per år siden 1980-tallet (O'Driscoll 1994). Veksten skyldes en rask teknologisk utvikling med hensyn til tilpasningen mellom polymeret og mineral-forsterkeren. Polypropylen inngår med en relativt stor andel i kjøretøy, og en økning av bilsalget vil derfor påvirke produksjonen av polypropylen. Økningen er først og fremst viktig for talk-industrien, da dette mineralet er meget benyttet som forsterker i PP. I tillegg til polypropylen ligger mulighetene for talk innenfor papircoating og pitch-control. Økningen for talk innenfor plast kompenseres til en viss grad for en nedgang på 15 % siden 1992 innenfor papir i Europa (Roskill-rapport, 1996). Ferske analyser av Jones (1997) gir imidlertid en liten indikasjon på at markedet for PP og PVC nå begynner å mettes.

En av polyamid-typene, «nylon 66» er også spådd en lovende framtid, på bekostning av «nylon 6». TPES erstatter termoset-plast, og de mest viktige TPES-typene, PET og PBT, var i 1993 forventet å vokse med 4 og 11% respektivt (O'Driscoll 1993).

MINERALFILLERE I MALING

En maling er en kompleks blanding av følgende:

- Medium (polymer)
- Pigment
- Filler + extender
- Løsemidler
- Additiver

Pigment og fillere/extendere er som regel industrimineraler. Fillere tilfører masse og gjør produksjonen billigere. Pigmenter gir malingen farge. Extendere benyttes som erstatning for dyre pigmenter som for eksempel TiO_2 i den grad det er mulig.

Viktige fillere/extendere inkluderer karbonater, talk, leire, aluminium silikater, barytt og silika. Mineraler som er mindre brukt inkluderer wollastonitt, glimmer og grafitt.

Generelt sett er maling den nest største konsumenten av mineralfillere, etter papir.

Det skilles mellom mange typer malinger alt etter hva de brukes til (Fattah 1995); (1) arkitektur-maling, (2) OEM (Original Equipment Manufacturers) og (3) spesial-maling.

Den første typen omfatter blant annet vanlig utendørs og innendørs-maling, underdekker og primere. Den andre typen omfatter container-malinger, maskinmaling, marine malinger og flere typer industrimalinger. Den tredje typen omfatter blant annet trafikk-maling, aerosol-malinger, industrimalinger og marine malinger.

Trender innen maling

Utviklingen innen malingsindustrien er nært knyttet opp til utviklingen innen byggebransjen og følger derfor de samme konjunkturer. I Europa har det vært en dårlige år for malingsprodusenter i tidsrommet 1992-1994, noe som har ført til nedleggelse av små bedrifter, mens de store bedrifter har fått øket sine markedsandeler (Kendall 1995). Av miljøhensyn lages det mer maling med lite løsningsmidler i og mer vannbasert maling enn tidligere. En minskning av løsemiddel-innholdet kreves at det istedet alternative kjemikalier slik som f.eks. oligomerer eller andre polymerer med lav molekylvekt. Samtidig medfører dette at en større andel mineraler og bindemiddel benyttes slik at en totalt sett kommer opp i 85-90 % fast stoff.

Fra å selge maling etter vekt har malingsprodusentene gått over til å selge maling etter volum. Konsekvensen er at de mineraltyper som har en høy egenvekt, slik som barytt, er blitt mindre ettertraktet, mens mineraler med lav egenvekt og stort volum blir mer ettertraktet.

GUMMI-PRODUKTER

Det skilles mellom gummiprodukter basert på naturlige råstoffer og gummiprodukter basert på syntetiske råstoffer. Gummi-produkter av den syntetiske typen har mange fellestrekk med plastprodukter, blant annet når det gjelder utvikling av «compunds».

Markedet for industrimineraler innen gummi er mindre enn i plast og maling. Hovedtyper fillere som brukes er kalsium-karbonat, kaolin, svart karbon og utfelt silika i følge Freas (1985).

Filleret som tilsettes gummi-produkter må vanligvis ha en meget fin til ultrafin kornstrørelse for å oppnå total dispersjon og for å unngå store kontaktflater som kan gi produktfeil.

PIGMENTER

Pigmenter benyttes både i maling, plast, papir, gummi, og flere mindre markedssegmenter slik som limstoff, sparkel, næringsmidler m.m.. Uorganiske, mineralske pigmenter kan være naturlige eller syntetiske.

I løsemiddel-baserte malinger er følgende pigmenter vanlige: TiO_2 , jern-oksyder, antimon-oksyder og forskjellige zink-forbindelser.

Vesentlig på grunn av en ekstremt høy refraktiv indeks har TiO_2 unike egenskaper som pigment. Dens pris på markedet er imidlertid meget høy, og malingsprodusenter tar i bruk andre mineraler som erstattere for TiO_2 i den grad det er mulig. Eksempler på slike « TiO_2 -extendere» er aluminium sulfat, kaolin, kalsium-karbonat og barytt. Disse mineralene er imidlertid ikke en direkte trussel for TiO_2 , fordi de mangler en del av TiO_2 -pigmentets egenskaper. Normalt benyttes 15 - 20 vol. % TiO_2 i maling. Forbruket av TiO_2 i EEC og EFTA-land i 1993 var på ca. 500 000 tonn. En økning på 2-3 % per år er forventet (Loughbrough 1993).

TiO_2 utvinnes fra mineralene rutil, ilmenitt og anatas, som tas ut enten fra sandavsetninger eller fra fast fjell. I verdensmålestokk er Norge betydningsfull når det gjelder titanmineraler, da vi har en rekke provinser som er forholdsvis rike på de nevnte mineraler. Titania AS driver ut ilmenitt fra en ilmeno-noritt og lager ilmenitt-konsentrat ved Tellnes, Rogaland, mens DuPont/Conoco i samarbeid med NGU undersøker en rutil-forekomst i eklogitt ved Engebøfjellet, Sunnfjord.

I 1994 ble det levert ca. 3 millioner tonn TiO_2 - pigment først og fremst til bruk i maling, men også med vesentlige anvendelser innen papir og plast. Dette utgjør ca. 94 % av totalt produsert TiO_2 . TiO_2 står for 75 % av produksjonen på 1.1 millioner tonn pigmenter som blir levert malingsindustrien (Loughbrough 1992).

Jernoksyder representerer den mineralgruppen som er størst innenfor fargede pigmenter. I sin naturlige form blir de gjerne betegnet som okere (rød og gul farge), siennas (orange farge), og umbers (mørk brun farge). Alle disse er varianter av limonitt, som er en betegnelse på blandinger av hydrerte jernoksyder og jernhydroksyder (Kendall 1994). Slike naturlige varianter av jernoksyder møter hard konkurranse fra syntetiske produkter som gir en del bedre egenskaper. De naturlige variantene blir gjerne benyttet som primere eller underdekker hvor fargen ikke er like viktig. Rana Gruber AS har i de senere år utviklet et svart pigment basert på mineralet magnetitt, samt røde pigmenter basert på kalsinert og mikronisert magnetitt. Produksjonen er i størrelsesorden 3-4000 tonn/år og 4-6000 tonn/år, respektivt (Kendall 1994).

En spesiell form for naturlig jernoksyd, glimmerformet jernoksyd, er fremdeles meget viktig i høy-kvalitets beskyttelses-bestrykningsmidler.

Det globale markedet for jernoksyd-pigmenter er på ca. 1 million tonn/år, fordelt på 70 % syntetiske pigmenter, og 30 % på naturlige pigmenter (Kendall 1994). Hovedmarkedet for jernoksyder som fargepigmenter er innenfor maling og konstruksjonsmaterialer.

Andre nevneverdige pigmenter som kan inngå i petroleumsrelaterte produkter er: (1) ulike typer krom-forbindelser, (2) kadmium, (3) ultramarin, (4) spinell og rutil baserte fargepigmenter, (5) zircon og zirconia baserte fargestoffer, (6) komplekse uorganiske forbindelser.

DE VIKTIGSTE FILLER-MINERALER

Kalsiumkarbonat

Kalsiumkarbonat har vært benyttet som pigment i flere århundrer, mens det fra begynnelsen av dette århundret ble brukt som filler i papir. Kalsium-karbonat er idag den mest anvendte filleren, og brukes både i papir, maling, plast, gummi og asfalt. På det amerikanske kontinentet har en tidligere brukt sure prosesser for framstilling av papir, mens det nå i økende grad benyttes mer basiske prosesser, hvor kalsium-karbonat kan benyttes. Dette forholdet har ført til en generell vekst i produksjonen.

Det skilles mellom to klasser av kalsium-karbonat som fillere:

1. Naturlig kalsium karbonat (GCC or Ground Calcium Carbonate)
2. Syntetisk kalsium-karbonat (PCC or Precipitated Calcium Carbonate)

Innenfor disse klassene er det en stor mengde undertyper. GCC blir fremstilt ved nedmaling av kalkspatmarmor eller av mer lavmetamorf kalkstein. PCC blir fremstilt ved kjemisk utfelling ved 3 ulike metoder:

1. $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaOH}$
3. $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaCl}$

GCC har som regel en grovere kornstørrelse enn PCC og har også en bredere kornstørrelsesfordeling. PCC blir produsert med flere ulike kornstørrelser og partikkelform og er derfor mer allsidig og gir mer homogene produkter. Produksjonen av PCC har øket 4 ganger på 10 år til en verdensproduksjon 1996 på 3.8 mill. tonn (Roskill-rapport, 1996 b). Økningen skyldes blant annet utviklingen innenfor papir (som forbruker 70 % av PCC). Det er spådd at denne utviklingen av PCC vil fortsette, mens forbruket av PCC innenfor andre sektorer slik som maling, plast og gummi vil forbli slik det er i dag.

Som eksempel på hvilke spesifikasjoner som blir vurdert ved bruk av filler kan nevnes:

- kjemisk renhet
- hvithet og reflektans
- partikkelstørrelse
- partikkelstørrelsesfordeling
- partikkelform
- overflateareal

- plastisk og rheologisk karakteristika
- adsorpsjons-karakteristika
- kjemisk reaktivitet
- spesifikk vekt

De fysiske og kjemiske egenskapene til kalsium-karbonat varierer avhengig av kildematerialet og prosesseringsmetoder. Ordentlig hvit farge, mangel på ødeleggende urenheter, og lav abrasivitet er viktige for kalsiumkarbonat - fillere benyttet i papir og maling.

For å illustrere forskjeller er typiske kjemiske egenskaper for kalsium-karbonat benyttet som pigment gitt i tabell 6.

Tabell 6. Typiske kjemiske egenskaper for kalsium-karbonat benyttet som pigment. PCC-typene er fremstilt på 3 ulike måter hvor tallet i navnene tilsvarer den ligningen med samme tall gitt i teksten ovenfor. Kilde: Overeng (i arbeid).

	GCC	PCC 1	PCC 2	PCC 3
CaCO ₃	96.63	98.36	98.43	98.62
CaSO ₄		0.08	0.78	0.63
MgCO ₃	2.43	0.70	0.37	0.21
Al ₂ O ₃	0.28	0.09	0.07	0.01
Fe ₂ O ₃	0.09	0.07	0.06	0.01
SiO ₂	0.37	0.10	0.04	0.02
NaCl	-	-	-	0.10
H ₂ O	0.20	0.60	0.25	0.30
pH	9.1	9.4	10.3	8.5

Kalsiumkarbonat i plastprodukter

Kalkstein er den dominerende industrimineral - filler i PVC-produkter, og i 1995 ble det benyttet omtrent 650 000 tonn kalkstein. Mengden som går med til de ulike produkter er variabel, f.eks. 7% i PVC vindusprofiler og opptil 35% i kabler (Jones 1997). En gjennomsnittelig vekst på 1% fram til år 2000 er estimert av Jones (1997).

Til tross for at PCC har en rekke «kvalitative fordeler» framfor GCC, er det sistnevnte som i hovedsak er benyttet til plast. Dette skyldes lave kostnader ved fremstilling, lav oljeabsorpsjon, at den er lett å dispergere, at den har en bred «brightness»-skala, at den er myk, og at den er lite abrasiv.

Kalsiumkarbonat i maling

Karbonater benyttes som filler og extender i stor, men variabel, grad i maling. En av grunnene til at det benyttes er at mengden TiO₂ kan reduseres slik at produksjonen blir billigere. Mange typer av karbonat benyttes: lavmetamorfe kalkstein, kalsium-karbonat-marmor, kunstig utfelt kalsium-karbonat (PCC) og dolomitt. Karbonater inngår både i løsemiddelbaserte og vannbaserte malinger, og utgjør 10-35 % av produktet (Loughbrough 1993). Generelt er karbonater rimeligere enn kaolin og talk og brukes gjerne på bekostning av disse dersom det er mulig ut i fra de egenskaper som ønskes av produktet. I følge Toon (1985) blir det brukt ca. 225 000 - 250 000 tonn årlig i USA og hele 700 000 tonn årlig i Vest-Europa i maling.

TALK

I likhet med kalsiumkarbonat er talk et mineral som inngår i svært mange forskjellige produkter, blant annet i malingsprodukter, papir-produkter, plastprodukter, keramer og gummi. Talk er benyttet i noe mindre omfang enn kalsium-karbonat i plast. Talk har en del unike egenskaper slik som meget hvit farge, svært god dekkevne, god glans, og at det gir en god glans på ferdig produkt. På grunn av sin plateform blir produktet tilført styrke. Talk brukes generelt ikke som hovedfilleren, men i blanding med andre fillere. Talk inngår i følgende

petroleumsprodukter: Polypropylen (som forsterker), gummi, og i diverse maling og lakk-produkter både som filler, extender og «coating».

I 1996 ble det benyttet ca. 140 000 tonn filler i PP, hvorav talk utgjorde ca. 70%. Det europeiske markedet for talk i polypropylen er ca. 90 000 tonn i året (Sims 1997). Det er gjerne benyttet lys, ultrafin talk av høy kvalitet. Verdensmarkedet for talk i malingsprodukter er ca. 500 000 tonn, og forbruket er økende flere steder.

Verdensproduksjon av talk i 1990 var på 9.4 mill. tonn, mens den i 1994 var på 8 mill. tonn (Roskill-rapport, 1996). Innenfor papirindustrien, som er den største avtageren av talk, har det vært en årlig reduksjon av forbruket på 2,5% siden 1992. Den største reduksjonen, hele 15%, har vært i Europa. I vest-Europa skyldes nedgangen konkurranse med billigere fillere, mens det i øst-Europa skyldes en nedgang i papir-forbruket. De nye mulighetene for talk ligger innenfor plastindustrien (polypropylene) samt i papir-coating og pitch-control. Det er generelt sett mangel på forekomster av hvit i Europa i følge Schober (1995).

Innenfor malingssektoren blir talk benyttet hovedsakelig i løsemiddel-basert maling. På grunn av talken's hydrofobiske egenskaper vil bruk av talk i vannbaserte malinger føre til flokkulering. Forbruket av talk i maling i USA 1983 var ca. 200 000 tonn (Toon 1985). I den europeiske malingsindustri blir det benyttet ca. 90 000 tonn årlig (Loughbrough 1993).

Økonomisk drivverdig talk opptrer hovedsakelig på to måter:

1. Dolomitt-assosiert talk
2. «Ultramafisk talk»

Disse to typene gir opphav til flere ulike talk-produkter; den dolomitt-assosierte kan enten gi en ren talk eller en blanding mellom talk og dolomitt.

Den ultramafiske talken opptrer som regel sammen med karbonatet breunneritt samt mindre mengder magnetitt og kloritt. I tillegg finnes også rene talker av ultramafisk opprinnelse.

Kjemisk sett er det stor forskjell i talk-krystallene fra disse to hovedtyper: I den dolomitt-assosierte talken har talk-krystallene en sammensetning som er nær den teoretiske sammensetningen, dvs. at det er et rent Mg-silikat. Den ultramafiske talktypen inneholder noe Fe og Ni i krystallgitteret. Den dolomitt-assosierte talken gir gjerne et produkt med høyere hvithet enn den ultramafiske talken.

Industrielt blir betegnelsen «talk» benyttet om en rekke typer bergarter som inneholder talk i større eller mindre grad. Hele 40 andre mineraler kan være tilstede i industriell talk, men de mest vanlige er karbonatene magnesitt/breunneritt, dolomitt og kalkspat, i tillegg til mineralene kloritt og tremolitt. Dette må en ha i bakhodet når en leser om spesifikasjoner av talk. Den laminære strukturen av mineralet talk gjør det anvendelig til visse formål. En bergart som består av ren talk har som regel en meget høy hvithet.

Talk i Norge

I Norge er talk et nokså utbredt mineral, men alle kjente forekomster er av den ultramafiske typen. Tre bedrifter er involvert i Norges talkindustri, hvorav Norwegian talc AS er desidert størst. Norwegian Talc AS driver ut talk fra ultramafiske bergarter i Altermark ved Mo i Rana. Produktet er en blanding av talk og karbonat. I framstillingsprosessen benyttes magnetseparasjon for å fjerne magnetitt samt mikronisering for å oppnå ønskede kornstørrelser.

Talk-produktet til Norwegian Talc AS inngår vesentlig i malingsprodukter. Blandingen av talk og breunneritt gjør det umulig å benytte til plastprodukter. Finnminerals OY i Finland floterer talken slik at breunneritten blir fjernet. En står da igjen med et produkt som består av nærmest ren talk. Hovedanvendelsen er innen papir, men mye går også inn i plastprodukter.

Muligheter for å finne nye drivverdige talkforekomster i Norge er tilstede.

GLIMMER

Mineralogisk sett deles glimmer inn i følgende typer. De viktigste er:

- Muskovitt

- Biotitt
- Lepidolitt
- Flogopitt
- Zinnwalditt
- Fuksitt
- Roscoelitt

Av disse er det kun typene muskovitt og flogopitt som er økonomisk betydningsfulle. Verdensproduksjon av glimmer var i 1989 på 250 000 tonn (Tabell 7).

Tabell 7. Produksjon og reserver av glimmer (etter Tanner, Jr., 1994).

	PRODUKSJON 1988	PRODUKSJON 1989	RESERVE
USA	119 000	113 000	Stor
Canada	12 000	12 000	Stor
India	20 000	20 000	Stor
Korea	30 000	30 000	Stor
USSR	45 000	45 000	Stor
Andre	27 000	30 000	Stor
Totalt	253 000	250 000	Stor

Økonomisk sett deles glimmer inn i 2 klasser:

1. Flak-glimmer («sheet mica»)
2. Nedmalt glimmer

De to hovedtyper er benyttet til ulike formål. Den nedmalte glimmeren er interessant med hensyn til petroleumsprodukter og vil bli nærmere omtalt her.

Råstoffet for nedmalt glimmer er enten som biprodukt av feltspat-, kaolin-, og pegmatitt-produksjon, biprodukt fra annen mineralproduksjon, restprodukt etter produksjon av flak-glimmer («skrap-glimmer») eller glimmer fra glimmergruver. Nedmalt glimmer har mange anvendelser (Tabell 8).

Tabell 8. Typisk bruk av nedmalt glimmer.

KVALITET	SIEVESTØRRELSE	ANVENDELSE
Grove flak	6 mesh	oljebrønn boring, kunstig snø
Middels-grove flak	10 mesh	Jule dekorasjoner mm.
Fin-grove flak	16 mesh	filler i sement blokk, ildfast-materiale, gips-plater, asfalt-taktekking, shingle
Grovt-fint pulver	30 mesh	metall-gløding, absorpsjons-middel i eksplosiver, des-infeksjonsmiddel, bil-komponenter
Medium-fint pulver	60 mesh	sveise-elektroder, kabler og wire, støperi, rørlednings-emalje, fugemasse, smøremidler, bindemiddel
Fint pulver	100 mesh	teksturmaling, akustikk-plater, takstein
Superfint pulver	325 mesh	maling, plast, gummi, papir

Glimmer nedmales enten i tørre prosesser eller i våte prosesser. Disse prosessene gir produkter med ulike anvendelser.

Våtmalt glimmer benyttes i følgende petroleumsprodukter:

- Bestrykningsmiddel med perlemor-glans
- Benyttes blant annet i plast
- Gummi

Et tynt dekke av glimmer brukes i gummi-massen ved fremstilling av dekk. Benyttes også i hjulslanger for å forhindre klebing.

- Utehusmaling

Benyttes som et forsterkende pigment for å forhindre oppsprekning og forkalkning. Glimmeret forhindrer også penetrasjon av f.eks. vann på grunn av sitt dekkevne.

- Plast

Benyttes som filler for å forbedre plastens elektriske og termale motstandsdyktighet og for å forbedre isolasjonsegenskapene. Selv om tørmalt glimmer også benyttes som filler i plast er det den våtmalte som gir høyest pris på grunn av sine gode ekstrusjonsegenskaper, og fordi den kan erstatte dyrere glassfiber i noen tilfeller.

Ved tørmaling av glimmer skiller en mellom 3 typer prosesseringsmetoder:

1. Hammermølle prosessen
2. Væske-energi-prosessen
3. Mikronisering

Glimmer produsert ved Hammer mølle prosessen blir blant annet brukt til oljebrønnboring, bstrykningsmiddel på tak-shingle og takpapp. Glimmer framstilt ved væske-energi-prosessen blir benyttet som filler og extender i visse typer malinger. Mikronisering av glimmer gir et meget finkornet produkt som hovedsakelig blir benyttet i visse typer maling. Mikronisert glimmer inngår også i en del kosmetikk-produkter.

Prisene på glimmer varierer sterkt, avhengig av type og kvalitet. Noen av produktene gir svært høye priser, mens andre gir lave priser. I tabell 9 er det en sammenligning av prisene for våtmalt og tørmalt glimmer samt prisene innennfor ulike applikasjoner.

Tabell 9. Gjennomsnittspriser av glimmer fra USA-produsenter 1990 (Tanner Jr., 1994).

TYPE	PRIS (\$/TONN)
Våtmalt	663
Tørmalt	151
Sement	168
Maling	212
Plast	288
Oljeborings - mud	162
Andre	381

Innen malingssektoren blir glimmer benyttet hovedsakelig på grunn av sin lamellære struktur. Superfint pulver (100-325 mesh) er en viktig tilsetning i et stort antall malinger og andre bstrykningsmidler (Sims 1997 b). Muskovitt er den desidert mest benyttede glimmer-typen, mens biotitt og andre jern-førende glimmere generelt blir for mørke. Den lamellære strukturen hindrer blant annet fuktgjennomgang og hindrer at malinga sprekker. Det er også en mengde andre ting som gjør glimmer nyttbar i visse typer maling.

Mikronisert glimmer blir ofte benyttet og disperserer godt både i vannbaserte og løsemiddelbaserte malinger. Det er imidlertid viktig at nedkningen ikke blir overdrevet slik at de spesielle egenskapene blir borte.

I følge Toon (1985) var forbruket i USA 17 000 tonn i 1983, hvor det hovedsakelig inngikk i primere og antikorrosjons-malinger.

Glimmer i Norge

I Norge produseres glimmer som et biprodukt fra feltspatproduksjon på Glamsland (North Cape Minerals). Kvaliteten er imidlertid ikke særlig god ettersom den inneholder mye biotitt. Norwegian Talc AS importerer ca. 5 000 tonn muskovitt årlig fra India, som så blir mikronisert og solgt til malingsprodusenter i Europa. Noe blir også solgt verden over under handelsnavnet Micro Mica til en pris av ca. 1 \$ pr. kg (Skillen 1992). Tidligere drev Norwegian Talc AS (Nå eid av Norwegian Holding AS) en glimmergruve ved Rendalsvik på

Helgelandskysten. Driften, som opphørte i 1981, ga et produkt med mye muskovitt, men som også inneholdt biotitt. Det er imidlertid grunn til å tro at mer prosessutvikling kunne ha ført til et bedre produkt. Det er fremdeles store ressurser av glimmer i denne gruva. Ellers har Bleikvassli gruver drevet med forsøk for å kunne utnytte glimmer fra sideberget i deres Pb-Zn gruve. Prosjektet ble imidlertid avsluttet, etter noe negative resultater.

Potensialet for å finne økonomisk interessante forekomster av glimmer i Norge vurderes som stort. I første rekke er det her snakk om glimmer som opptrer i glimmerskifre. Kravene som bør stilles for at slike forekomster skal være drivverdige er i grove trekk som følger:

- Høyt innhold av glimmer
- Glimmeret må enten være av typen muskovitt eller av typen flogopitt
- Glimmeret bør tilfredstille krav om kjemisk sammensetning
- Glimmeret må være mulig å separere fra bergarten
- Glimmeret bør være idioblastisk og uten inneslutninger av andre mineraler

Ellers er også muligheten til stede for å finne glimmer som tilfredsstiller kravene i pegmatitter, men driften må da kombineres med drift på feltspat og/eller kvarts.

BARYTT

Til tross for dens relative lave pris, og dens lite glamorøse karakteristikk, har barytt mange egenskaper som gjør den til en verdifull «arbeidshest» som fyller og extender (Griffiths, 1995). Av spesielle kvaliteter kan følgende nevnes:

- det er relativt inert
- lys farge
- høy glans («brightness»)
- har lav olje-absorpsjon

Kvalitetene varierer fra svakt fargede til grålige og til hvite, og kornstørrelsen som leveres varierer fra finkornet til mikronisert (meget finkornet). Generelt sett brukes de svakt fargede variantene til lavkost-produkter som for eksempel lyd-isolasjon eller i produkter hvor en utnytter mineralets tyngde. Grålige («off-white») benyttes blant annet i maling, bestrykningsmidler og i friksjonsprodukter. Den hvite benyttes blant annet i maling, plast, gummi og i fargestoff til printere. I malingsprodukter hvor egenskapene til barytt er spesielt viktige, slik som i primere og anti-korossive malinger, har barytt en veletablert markedsnisje (Kendall 1995).

På grunn av sin høye spesifikke vekt (ca. 4.2) benyttes barytt også i mer spesielle produkter slik som golfballer, tennisballer, bowlingkuler, i gummi (f.eks. baksiden av tepper), tungt papir (spillekort, tungt printepapir).

Barytt er mest kjent i forbindelse med oljeboring; hele 90 % av verdens produksjon går til dette formålet. En stor andel av det resterende går til produksjon av TV-glass. Bruken som fyller kommer nederst på listen for dette mineralet, som brytes i svært mange land (Griffiths 1995).

Barytt i Norge

Barytt finnes både i sedimentære, vulkanske og magmatiske bergarter. Forekomstene av barytt kan klassifiseres i tre typer:

1. Stratiforme/lagdelte forekomster
2. Gang-/breksjeforekomster
3. Residuale forekomster

De residuale forekomstene er dannet ved kjemisk forvitring og anrikning av tidligere baryttavsetninger. Denne forekomsttype er lite aktuell i Norge i dag da den sannsynligvis vil være erodert vekk under de siste istider.

Størst økonomisk betydning på verdensbasis har fortsatt gangforekomster dannet av hydrotermale løsninger i forbindelse med magmatisk eller tektonisk aktivitet, eller dannet samti-

dig med eller senere mobilisert fra de stratiforme forekomstene. De startiforme forekomstene som er antatt å være dannet ved utfelling på havbunnen av varme løsninger i sedimentbassenger er av sterkt økende interesse, og inneholder størstedelen av verdens kjente barytressurser. Vi mener at potensialet for stratiforme forekomster er størst i Norge, og spesielt i Nordland og Troms hvor barytt er kjent i forbindelse med bly-sink forekomster i det øverste dekket innenfor den kaledonske dekketabelen.

2.3. SATSINGSOMRÅDER INDUSTRIMINERALER

Dersom det skulle være aktuelt for SAGA å satse på industrimineraler i fastlands-Norge er det flere momenter som er viktig å vurdere, blant annet:

1. Potensialet for å avdekke nye drivbare forekomster av de ulike typer industrimineraler som inngår i petroleumsprodukter
2. Status med hensyn til teknologi, prosessering og produktutvikling
3. Hvilke aktører som er aktive i dag i Norge og internasjonalt og hvilken mulighet det er for å kunne bli en konkurransedyktig produsent innenfor de ulike mineraltyper

Industrimineralbransjen har generelt sett hatt en positiv utvikling i de senere år, både nasjonalt og internasjonalt. Dette er vesentlig som et resultat av et økende forbruk av plast og papir, samt et resultat av en økende bruk av industrimineraler i slike produkter. Det har videre skjedd en endring i eierforhold ved at det har blitt færre, men større produsenter.

Med en økende grad av teknologisk spesialisering, er det idag vanskelig å komme inn alene som fersk aktør innenfor filler-industrien. Båndene mellom råstoff-leverandører og -mottaker er meget sterke, og i mange tilfeller er prosessene som benyttes av malingsprodusenter og plastprodusenter nøye tilpasset råvarenes spesifikasjoner. Dertil kommer det at konkurransen mellom de ulike produsenter er nokså tøff.

De som er ledende i bransjen sitter på kunnskaper som er svært høye og som er utviklet over lang tid. For flere av mineraltypene er denne kunnskapen nødvendig å ha for å kunne være konkurransedyktig.

Dersom en ny aktør skal inn som leverandør av råvarer til plast- og malingsindustrien bør vedkommende enten sitte på en unik forekomst eller inngå samarbeid med en av de eksisterende leverandører.

Dersom en ser nærmere på hva hvilke mineraler som kan være av interesse i Norge mot plast-, malings- og gummi-industrien så peker mineralene kalsium-karbonat, talk og glimmer seg ut. Nefelin-syenitt er også interessant, men er ikke benyttet til disse produkter i samme grad. Barytt er også interessant innfor visse nisje-markeder, men dens utbredelse i Norge synes ikke å være særlig stor.

Kalsiumkarbonat-industrien på filler-siden i Norge er dominert av OMYA AS, som er hovedaksjonær i slurry-fabrikken på Elnesvågen, og Hustad-gruppen, som er leverandør av råstoff til slurry-fabrikken. Kalsiumkarbonat er det mest benyttede filler-mineralet (dersom dolomitt er inkludert). Den store anvendelsen skyldes dels dets egenskaper, dels dets hyppige opptreden, og dels dets lave pris. Det eksisterer en meget høy intern kompetanse innenfor kalsium-karbonat-filler industrien, noe som gjør muligheten for en ny aktør mindre. Syntetisk kalsiumkarbonat, som har blitt mer og mer populært de senere år, har en høyere markedspris enn naturlig kalsium-karbonat, men også her er kompetansen meget høy innerfor de enkelte selskaper.

Talkindustrien i Norge er ledet av Norwegian Talc AS (heleid av OMYA AS), som driver Altermark talk gruve ved Mo i Rana, og som har sitt prosesseringsanlegg i Knarrevik ved Bergen. Hovedproduktet er en mikronisert blanding av talk og karbonat for malingsindustrien. For å kunne benyttes i plast og gummiindustrien kreves et produkt som består av ren talk. Finntalk Oy i Finland floterer en lignende ultramafitt-derivert talk-type og tar på denne måten ut karbonatet, slik at produktet inneholder nesten utelukkende talk. Dette produktet benyttes både i maling- og plastindustrien (i tillegg til papirindustrien). I Norge er det muligheter til å finne nye drivverdige talk-forekomster av den ultramafiske typen.

Glimmer utgjør ikke store markedsandelen på filler-siden, men innehar egenskaper som gjør det verdifullt innenfor visse typer maling og plast. Prisene på glimmer-produktene er relativt høye. Pr. idag blir glimmer importert fra India (ca. 4 000 - 5 000 tonn/år) av Norwegian Talc AS. Dette produktet blir foredlet (mikronisert) og så solgt videre. Tidligere drev Norwegian Talc AS en glimmergruve ved Rendalsvik på Helgelandskysten. Det produktet som ble solgt inneholdt ikke bare muskovitt, men også biotitt. Det er godt mulig at et renere produkt kunne vært skapt med en bedre prosessering. North Cape Minerals AS tar ut glimmer som biprodukt i sin feltspatproduksjon ved Lillesand. Produktet er imidlertid ikke av særlig høy kvalitet da biotittandelen er stor. Ellers har AS Bleikvassli gjort en del forsøk på å skape et glimmerprodukt fra sideberget i sin produksjon av metalliske mineraler. Lite er ellers gjort på glimmer-siden i Norge. Mulighetene for å finne bergarter som gir et muskovittrikt glimmerprodukt er store. I en slik kartlegging/undersøkelse er det nødvendig å gjøre mye oppredningsforsøk. Sjansene for SAGA anses som størst innenfor dette mineralet.

3. MALM

3.1. LETESTATUS FASTLANDET

Ved malmleting i Norge i dag satses det innenfor disse forekomststypene:

- Gullforekomster
- Massive sulfidmalmer, gjerne med forhøyd edelmetallinnhold
- Nikkel-kobber forekomster

Det er størst aktivitet innen prospektering etter gull, spesielt i Finnmark. Andre viktige områder er Eidsvoll i Akershus, Bleka i Telemark, Eikesdalen i Møre og Romsdal og Kolsvik på Helgeland. I hovedsak er det kjente forekomster som undersøkes, men også andre områder er aktuelle for funn av nye gullmineraliseringer som f.eks. i Møre og Romsdal og andre deler av Vestlandet. De senere årene har det også vært økende interesse for å undersøke og videreutvikle massive sulfidforekomster med forhøyd innhold av gull og sølv. Spesielt forekomster i Nord-Trøndelag og Nordland er da aktuelle. I denne sammenheng er det viktig å være oppmerksom på at en økning i kobberinnholdet på ca. 1 % tilsvarer omtrent det samme som en økning i gullgehalten på 3 ppm. Både i Nord-Trøndelag og Nordland blir kobber-sink forekomster undersøkt, og i tillegg er bly-sink forekomster aktuelle i Nordland.

På bakgrunn av større funn av nye Ni-Cu forekomster i prekambriske bergarter i Canada, er det også økt interesse for prospektering etter tilsvarende forekomster i Norge. Mange kjente forekomster er mutet, spesielt i Finnmark, men også ved Bergen, i Evje i Aust-Agder og i Akershus-Østfold. Interessen for diamant-leting i Finnmark har også økt på bakgrunn av funn av diamanter på Kola og i Finland og påvisning av diamanter i vaskekonsentrat i Finnmark. Men foreløpig avventer selskapene avklaring av rettighetsspørsmålene i indre Finnmark, som er det aktuelle leteområdet i Norge.

Norske selskaper med hovedsakelig utenlandsk kapital står for den største aktiviteten innen malmleting i dag. I fortegnelsen over opprettholdte mutinger i 1997 er det Norway Gold Exploration A/S som står oppført med størst antall mutinger. Bak dette selskapet står Geologiske Tjenester A/S og en rekke ulike canadiske juniorselskaper i forskjellige prospektområder. Tilsvarende er Viking Gold & Prospecting AB basert på australske interesser. De mest aktive utenlandske selskapene er juniorselskaper, mens de store selskapene er mer avventende. Flere av disse har vært interessert i malm- og spesielt diamantleting i Finnmark, men uklarheter omkring rettighetsspørsmål gjør at de er passive for tiden. Men vi ser også en økende interesse blant norske juniorselskaper, som dels har suksess i utlandet, for å videreutvikle og lete etter nye malmforekomster her i landet. Eksempler på disse selskapene er Kenor ASA, Mindex AS og Mining Resources AS. Blant de større norske selskapene avtok interessen for malmleting i løpet av 80-tallet, men det er verdt å merke seg at Elkem nå-igen viser interesse for Sulitjelmafeltet.

NGU er ikke, og planlegger ikke å bli et prospekteringselskap i nær framtid, men vi bistår på oppdrag og i samarbeid andre som er interessert i å lete etter malmforekomster i Norge. Vår hovedoppgave i denne sammenheng er i tillegg å tilrettelegge for malmleting på fastlandet gjennom utvikling av nye forekomstmodeller, kartlegging og sammenstilling av data. Av malmpotensiale vi nå er i ferd med å utrede, kan vi nevne muligheter for gull i nordlige deler av Troms, spesielt på Ringvassøy, i samarbeid med fylkeskommunen og massive sulfidmalmer i Bleikvassliområdet, i det sørlige Trondheimsfeltet og i Nord-Trøndelag. I samarbeid med Nord-Trøndelag Fylkeskommune har vi de senere årene spesielt fokusert på massive sulfidmalmer i Grongfeltet, i Meråkerfeltet og i Verdalsområdet gjennom regionale geologiske, geofysiske og geokjemiske undersøkelser. Våre undersøkelser der er nå avsluttet, og prospekteringselskaper gjør videre oppfølging av objekter innenfor to av disse feltene.

Når det gjelder totale kostnader vedrørende pågående malmprosjekter på fastlandet er ikke de eksakte tall fra prospekteringselskapene tilgjengelige for NGU. Prosjektene størrelse i 1997 varierer fra noen 10.000 kr til noen millioner kr. En offentlig indikator på prospekte-

ringsinnsatsen er søknadene om tilskudd til prospekteringsstøtte som i 1997 utgjorde totalt 16,7 mill. kr. Over Statsbudsjettet for 1997 var det bevilget kun 2,5 mill. kr til ordningen og med restanse fra 1996 ble det innvilget tilskudd på ca. 3,2 mill. kr i 1997 til 12 av 47 prosjekter innen mineralprospektering totalt. Den offentlige støtte kan maksimalt utgjøre 50 % av de totale prosjektkostnader. Støtten til malmprospektering utgjør 1,29 mill. kr fordelt på 0,8 mill. kr til Viking Gold and Prospecting AB i Kolsvik og 0,49 mill. kr til Norway Gold Exploration AS i Grong. Begge disse prosjektene omfatter videreutvikling av kjente forekomster. Støtten til industrimineralprosjekter utgjør ca. 1,8 mill. kr i 1997.

Tabell 10. Oversikt over opprettholdte mutinger i Norge pr. 29.04.1997 (kilde: Bergvesenet)

METALL		FYLKE	OMRÅDE	SELSKAP	
Gull		Akershus	Eidsvoll, flere	Hedmark Gruvedrift A/S	
			Eidsvoll, flere	privatperson	
		Hedmark	Grue	Mining Resources AS	
		Oppland	Mårådalen	Mining Resources AS	
	+ Cu, Bi	Telemark	Bleka	Expro AS/Mindex	
	+ mange		flere	privatpersoner	
		Hordaland	Bømlo	Bømlo Gull AB (ut mål) og privatpersoner	
		Sogn og Fjordane	Aurland	Mining Resources AS	
			Kletten (Førde)	Mining Resources AS	
		Møre og Romsdal	Eikesdalen	ProAuro AS	
			Geiranger	Mining Resources AS	
	+ Ag	Sør-Trøndelag	Åmotsdalen	privatperson	
	+ Ag	Nordland	Kolsvik	Viking Gold & Prospecting AB og Bindal Initiativ	
	+ Cu	Troms	Kvænangen, flere	Prospektering A/S	
	+ Cu	Finnmark	Repparfjord-vinduet	Prospektering A/S	
	Kautokeino, flere		Norway Gold Exploration A/S		
+ Cu		Kautokeino, flere	Prospektering A/S		
		Pasvik	Kenor ASA		
Kobber		Oppland	Lesja	Falkhammar AS	
		Sogn og Fjordane	Årdal	Årdal Prosjektutvikling	
		Finnmark	Nussir	A/S Sydvaranger (ut mål)	
Cu, Zn		Sør-Trøndelag	Hesjø, Røros	Norway Gold Exploration A/S	
	+ Au	Nord-Trøndelag	Meråkerfeltet	Norway Gold Exploration A/S	
			Verdal	Nord-Tr.lag Fylkeskommune	
	+ Au		Grongfeltet, flere	Norway Gold Exploration A/S	
	+ Au, Ag	Nordland	Sulitjelma	ELKEM ASA	
	Pb, Zn	+ Cu, Ag	Nord-Trøndelag	Skrattåsen	Falkhammar AS/J. Søyland
		+ Ag, Au	Nordland	Hausvika	Falkhammar AS/J. Søyland
		Svenningdal	Falkhammar AS		
	+ Cu		Bleikvassli-området	Bleikvassli Gruber A/S	
	+ Au		Mofjell-området	Norway Gold Exploration A/S	
Ni, Cu	+ Co, Pt	Akershus-Østfold	flere	Gexco A.S.	
		Aust-Agder	Evje	Norway Gold Exploration A/S	
		Rogaland	Eikeland	Norway Gold Exploration A/S	
		Hordaland	Bergen-Os-Osterøy	Norway Gold Exploration A/S	
		Nordland	Ballangen	Nikkel og Olivin A/S	
	+ Au, PGE	Finnmark	Porsanger	Finnmark Fylkeskommune	
			Karasjok-Porsanger	Norway Gold Exploration A/S	
Jern		Troms	Andørja	Ibestad kommune	
Platina		Sogn og Fjordane	Jølster	privatperson	

3.2. GULLPROSPEKTERING

Det er mange myter og romantiske forestillinger knyttet til gullprospektering, og ikke uten grunn. Gullprospektering kan være et lotteri, hvor risikoen er meget høy og hvor fortjenesten kan bli enorm. Det ble for noen få år siden funnet en gullforekomst i Japan på 10 millioner tonn som inneholdt ca. 60 g gull pr. tonn. Det vil si en brutto malmverdi på 4 200 kr/tonn mens produksjonskostnadene er ca. 400 kr/tonn. Fortjenesten er 3 800 kr/tonn eller 38 milliarder kroner for hele forekomsten. Dette eksemplet fra Japan er et unntak og de fleste gullgruver har mer moderate fortjenestemarginer. Til sammenligning kan en ta en jernmalforekomst som aldri kan inneholde mer enn 100% magnetitt og derfor kan fortjenesten med dagens priser ikke bli høyere enn 50% av malmverdien. I Norge har vi nylig hatt gullgruve drift i Bidjovagge, hvor Outokumpu hadde en meget god fortjeneste fra 1985 til 1992.

«*Exploration is a matter of confidence*», uttalte for noen få år siden Roy Woodall, direktør i Western Mining, et av de mest suksessrike gruveselskaper i verden. Woodall mener at både den dyktige og den heldige trenger *confidence* til de ansatte, som bør være blant de beste i verden, *confidence* til den prospekteringsmodell som en velger og *confidence* til at brutto nasjonalproduktet i verden øker.

Gullmalmleting er en aktivitet som ofte ikke passer innen rammen av en stor organisasjon. Store organisasjoner har tendens til å bli mer opptatt av å ikke mislykkes enn av å lykkes. I et lite selskap er det omvendt. Du må lykkes for å overleve. Hvis SAGA mener gull er interessant så anbefaler vi å skille aktiviteten ut som et eget selskap. Norsk Hydros prospekteringsavdeling brukte på syttitallet ganske mye penger med få resultater inntil de skilte ut avdelingen til Terra Mining som et eget aksjeselskap. De fikk ca. 60 mill. kroner og det var leve eller død for selskapet. Etter at dette ble gjort har virksomheten i Terra Mining vært meget god økonomi for Norsk Hydro, inntil nylig da det ble solgt med god fortjeneste.

Hvis SAGA vil spre risikoen kan en få medeiere. Det er i dag lett å få risikovillig kapital på Oslo børs. Dette ble tydelig demonstrert ved lanseringen av Mindex, som i dag har en børsverdi på over 300 millioner kroner. Den reelle verdien er sannsynligvis mellom 50 og 100 millioner og enkelte i Mindex har i dag allerede solgt seg ut med en betydelig fortjeneste. Dette viser at det er relativt dyrt å kjøpe seg inn i et etablert selskap i forhold til å etablere et selv.

GULLMALMDANNELSE

Vedlagte artikkel fra NGUs årsmelding for 1995 (vedlegg 4) og oversikt over gullforekomster i Norge (fig.3) viser at gull forekommer i de fleste geologiske miljø. Det gjelder derfor å skille mellom geologiske miljø som kan produsere store forekomster fra miljø som har små mineraliseringer. Gullforekomster, med unntak av de sedimentære, dannes ved at gull felles ut fra hydrotermale løsninger ved temperaturer på mellom 200 og 400 grader. Gullet opptrer som kloridkomplekser over 300 grader og HS-komplekser under 300 grader. De hydrotermale løsningene kan enten være metamorfe eller magmatiske og en viktig dannelses måte for gullforekomster er utfelling av gull fra hydrotermale løsninger på overgangen mellom duktile og sprø regimer i forkastningsoner eller skjærsoner (Fig. 4). Dette indikerer at trykkfall spiller en viktig rolle under utfellingen av gull. Andre årsaker er væskebergartsreaksjoner, som fører til omvandlinger av vertsbergarten. På grunn av at løseligheten av gull i hydrotermale løsninger er begrenset, er store forekomster avhengig av relativt store mengder hydrotermale løsninger. Store mengder hydrotermalt vann vil vanligvis gi store omvandlinger. Skjærsoner og omvandlinger er derfor viktige indikasjoner i gullmalmprospektering. Sundblad og Ihlen (1995) understreker også at skjærsoner er av avgjørende betydning for dannelsen av gullforekomster i det Fennoskandiske skjoldet (vedlegg 1).

Gullmalmer er i høy grad knyttet til en fjellkjededannelse hvor metamorfe fluider vil produseres. Under den sene up-lift fasen vil det være en maksimal vertikal bevegelse av fluidene fra den undre del av skorpen mot den øvre (Fig. 4). Områder som har vært utsatt for en rask heving er potensielt interessante gullområder, som f. eks. Mørere regionen. Andre eksempler i Norge er Skjomen i Nordland og i de ytre deler av Troms.

Gold Occurrences in Norway

Compiled by M. Often, 1997.

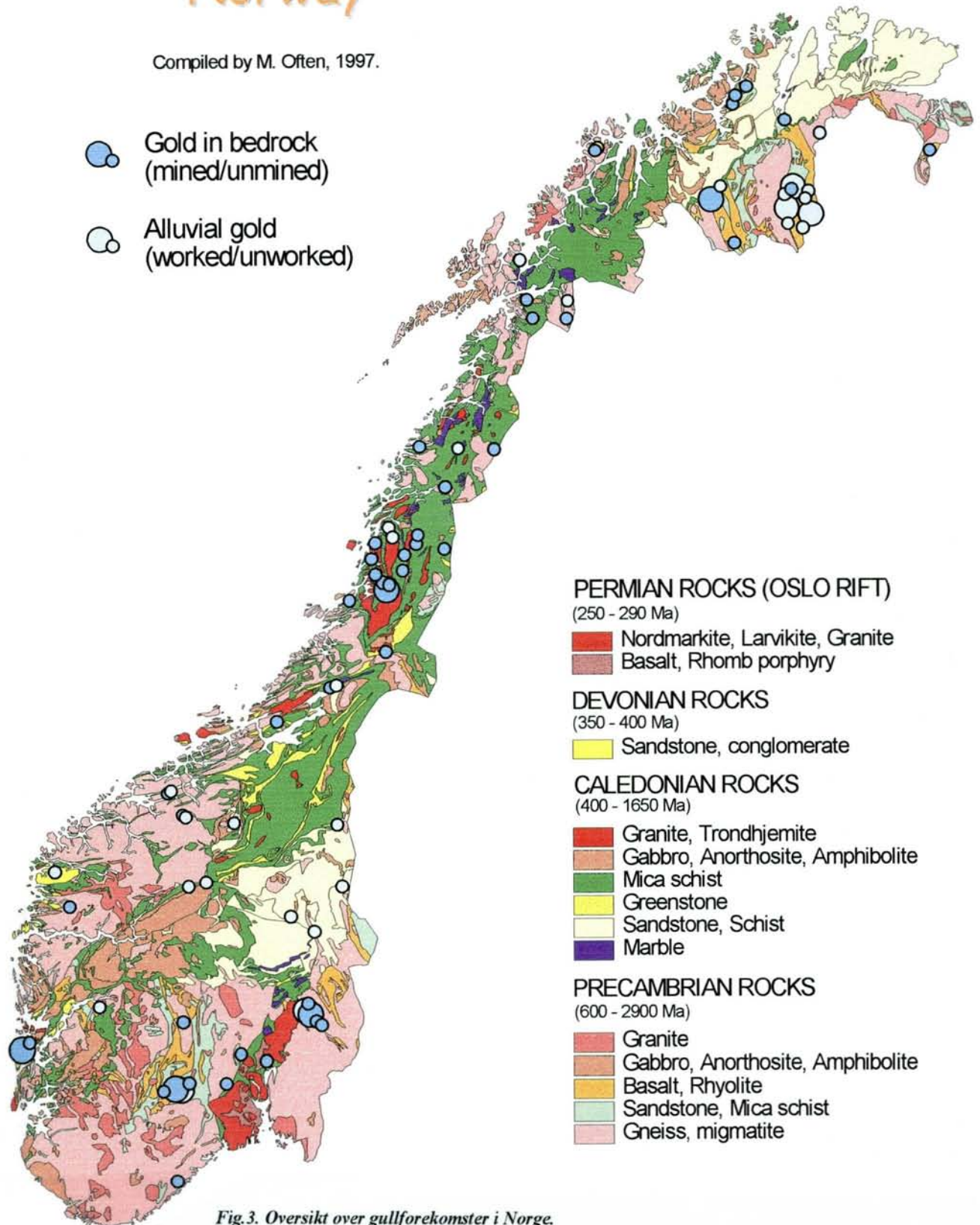


Fig.3. Oversikt over gullforekomster i Norge.

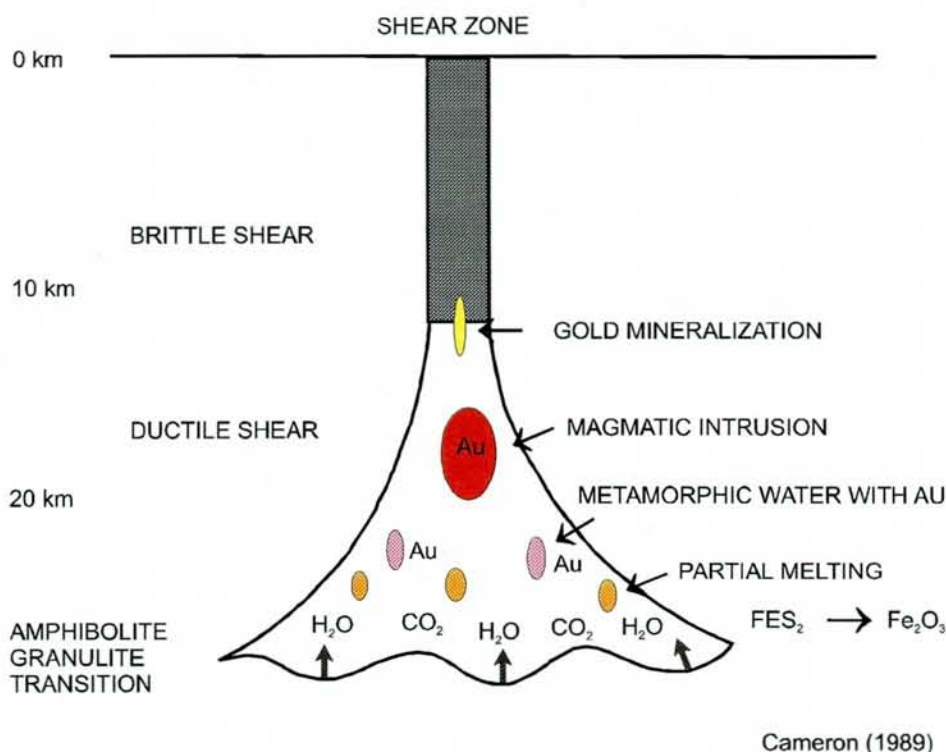


Fig.4. Dannelsesmåter for gull.

PROSPEKTERINGSMODELLER

Kapital er ikke noe problem i dagens gullprospektering - problemet er å vite hva en bør gjøre. Tilbake til Woodall: For å vinne i konkurransen så må en ha dyktige folk og troen på det en gjør. Det var dette som gjorde Terra Mining til en suksess. De hadde fullstendig tillit til at den propekteringsmodell de benyttet var god, og de benyttet den slavisk. Mange eksperter var skeptiske til modellen, men prospekteringsmodeller skiller seg fra forskningsmodeller ved at de ikke behøver å vise hele sannheten for å være effektive. Ofte kan det være nok at bare en egenskap er riktig definert for å finne en malm.

I Bidjovagge utviklet Outokumpu en prospekteringsmodell basert på at de malmførende løsningene oksyderte grafitiskifer og at en derfor skulle lete etter brudd i elektromagnetiske anomalier. Erfaringen fra Bidjovagge gjorde at de fant to andre gruver i Finland og Sverige basert på modellen.

De beste modellene er ofte bygget på en kombinasjon av erfaring og viten. I motsetning til hos forskningsrådet og hos redaktører av vitenskapelige journaler kan det innen prospektering være lønnsomt ikke å følge den store majoritet og motebølger. Sannsynligheten for å gjøre det riktig godt blir mindre hvis alle gjør det samme.

3.3. SATSINGSOMRÅDER GULL

Hvor er de største mulighetene for å finne gull i Norge? Finnmark har lenge vært regnet som prospekteringsmål nr. 1. Dette ble ikke svekket ved funnet av gullmalmen i Bidjovagge, hvor Outokumpu hadde en meget god fortjeneste på sin gullgruvedrift fra 1985-1992. Liknende forekomster har også vært satt i produksjon i både Nord-Sverige og Nord-Finland (Sundblad & Ihlen 1995). Den siste gullgruven som ble startet i august 1996 i Finland, nær Sodankylä, ligger også i tilsvarende bergarter som på Finnmarksvidda. Selv om potensialet fortsatt er til stede for nye funn i indre Finnmark vil vi ikke anbefale større prospekteringsinnsats i indre deler av fylket før samerettsutvalgets innstilling er behandlet og prospektørens rettigheter er sikret innen fylket.

I de senere år har det vært funnet en del mindre mineraliseringer innen den vestre gneisregion. Dette området har de fleste av de geologiske forutsetningene for gullmalmdannelse. Området var gjenstand for en sterk up-lift under den kaledonske fjellkjededannelsen (Eide, vedlegg 2) og vi har en rekke strukturer som verter for malmene (Roberts, vedlegg 3). NGU har en betydelig aktivitet i området og en rekke data fra denne aktiviteten kan også få betydning for gullprospekteringen.

Ingen systematisk gullprospektering har vært foretatt i regionen. En kombinasjon av systematisk gullvasking, bekkesediment- og moreneprøvetaking bør gjøres som en første fase og modellene vil videre kunne benyttes i evalueringen av anomalier. Vi vil gjerne få komme tilbake til SAGA med mer konkrete data om prospekteringsmetoder og priser hvis det er av interesse.

Våre anbefalinger når det gjelder gull oppsummeres som følger:

1. Det er gode muligheter for å tjene penger innen gullprospektering i Norge i dag.
2. SAGA bør etablere et eget selskap med formål gullprospektering.
3. Hvis SAGA er redd for å tape penger kan en del av aksjene selges i begynnelsen av prospekteringsfasen. Aksjene er da sannsynligvis verdt betydelig mer enn ved selskapsdannelsen.
4. Innen Norge anbefaler vi en systematisk undersøkelse av Møre-regionen.

4. KOSTNADSOVERSLAG GULLPROSPEKTERING MØRE

En regional prospekteringskampanje på Møre vil i første fase bestå av sammenstilling av kjent geologisk og malmgeologisk informasjon og innsamling av nye regionale data som i hovedsak vil være strukturgeologisk tolkning og innsamling av løsmasseprøver. Oppfølgende undersøkelser inkluderer fortetting av geokjemisk prøvetaking og geologisk (strukturgeologisk og malmgeologisk) kartlegging og prøvetaking. Geofysiske metoder kan benyttes både til kartlegging av strukturer og hvis antatte oppfølgingsobjekt har geofysiske signaturer.

Eventuelle økonomiske gullmineraliseringer i dette området forventes å opptre strukturelt kontrollert og det er derfor svært viktig å få en god strukturell oversikt over området. Dette gjennomføres ved tolkning av flyfoto og/eller satelittbilder før oppfølging av tolkning i-gangsettes i felt. Ved klassifisering av ulike strukturer ved tolkning vil feltundersøkelsene effektiviseres. Da en god del av disse grunnlagsdata eksisterer gjennom nyere kartlegging, er det nødvendig å etablere en sammenstilling over dette materialet.

Det er kjent enkelte gullmineraliseringer i området uten at detaljert informasjon om disse forekomstene eksisterer på NGU. To selskaper har bergrettigheter (fig.5); ProAuro AS omkring Eikesdalsvatnet og Mining Resources AS ved Geiranger. I Malmdatabasen ved NGU er ingen gullforekomster registrert. Jern-titan forekomster dominerer i gneissene i grunnfjellet og i midtre dekkeseerie mens sulfid- og kromforekomster er registrert i øvre dekkeseerie.

Den regionale geokjemiske metoden som antas være best egnet er prøvetaking av løsmasser, morene, med en prøvetetthet på 1 prøve pr. 20-30 km². Anomale områder kan følges opp med tettere prøvetaking av moreneprøver og/eller rasprøver avhengig av de topografiske forholdene. Arealet på området er ca. 15 000 km² og dette tilsvarer etter prøvetettheten 500-750 prøver. Alternativt kan den regionale prøvetakingen suppleres eller erstattes med bekkesedimentprøver med tilsvarende tetthet. Tolkning av resultatene er imidlertid mer entydig ved prøvetaking av løsmasser som i mindre grad er forstyrret av vanntransport. Kostnadene vedrørende de to prøvetakingsmetodene er imidlertid relativt like. Nedenfor er utarbeidet et kostnadsoverslag for innledende fase med regional prospektering etter gull i regionen. Kostnadene vedrørende oppfølging vil være avhengig av resultatene som oppnås og er ikke beregnet her.

KOSTNADSOVERSLAG

GEOLOGI

Sammenstilling geologi/malmgeologi	72.000,-
Lineament-/struktureltolkning (4 uker a kr 24000,-)	96.000,-
<u>Feltoppfølging</u>	<u>100.000,-</u>
Sum geologi	268.000,-

GEOKJEMI

Prøvetaking (750 prøver a kr 1200)	900.000,-
Prøvebehandling/analyser (750 prøver a kr 400)	300.000,-
<u>Tolkning/rapportering</u>	<u>96.000,-</u>
Sum geokjemi	1 296.000,-

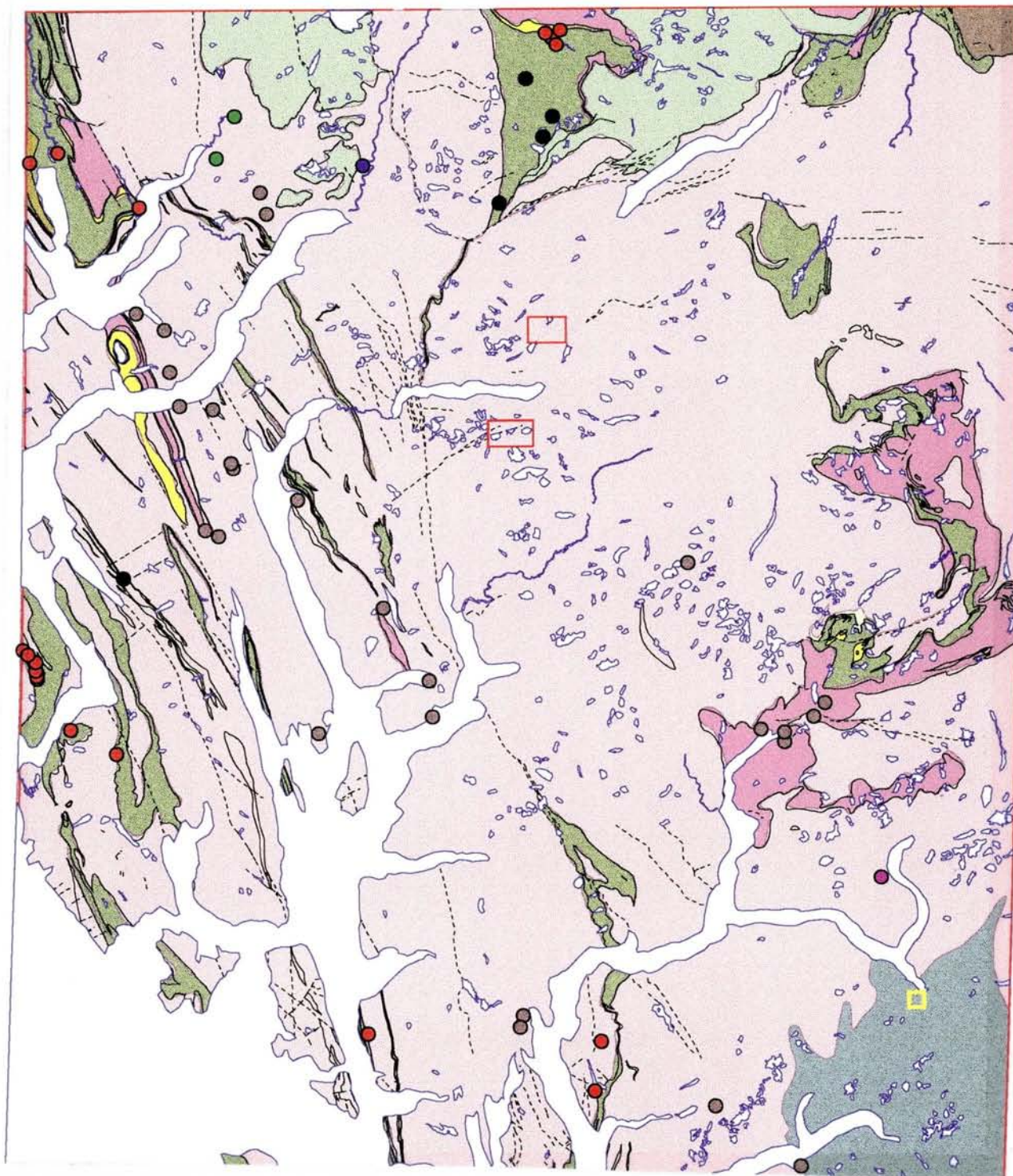
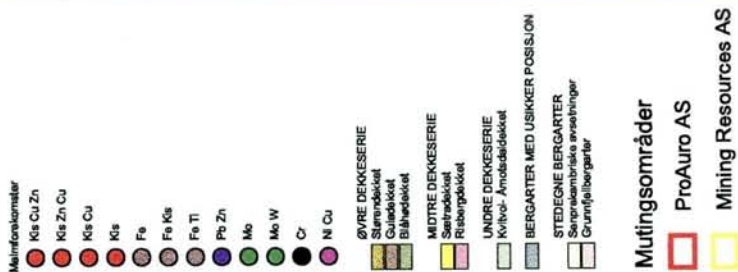


Fig.5. Utsnitt av berggrunnskart Ålesund M 1:250 000.

LITTERATUR

- Bristow, C.M., 1992: An introduction to the evaluation of mineral filler deposits. *Industrial Minerals*. Juni.
- Cameron, E.M. 1989: Derivation of gold by oxidative matamorphism of deep ductile shear zone. I. Conceptual model. *J. Geochem. Expl.* 31, 135-147.
- Fattah, H., 1995: North American GCC - The finer, brighter side of life. *Industrial Minerals*. Februar.
- Freas, R.C., 1985: Industrial mineral fillers - a changing perspective. In: Dickson, E.M. & Griffiths, J.B.: *Pigments & Extenders. Filling a colourful market. A Supplement to «Industrial Minerals»*. Mai 1985.
- Goodman, R., 1995: Surface modification of mineral fillers. *Industrial Minerals*. Februar.
- Griffiths, J., 1995: Barytes - a heavyweight amongst fillers. In: Bolger, R.L. & Driscoll, M. (Eds.): *Raw Materials for Pigments, Fillers, & Extenders*. Consumer Survey. *Industrial Minerals*.
- Ihlen, P.M. 1996: Gull i Norge. NGU Årsmelding 1995, 12-13. *Industrial Minerals*, Juni 1997.
- Jones, T., 1997: Plastic fillers - A maturing market in Europe. *Industrial Minerals*, mai 1997.
- Kendall, T., 1994: Inorganic coloured pigments - Iron oxides looking for a rosy future. *Industrial Minerals*. Februar.
- Kendall, T., 1995: European coatings - Any colour, as long as it's green. In: Bolger, R.L. & Driscoll, M. (Eds.): *Raw Materials for Pigments, Fillers, & Extenders*. Consumer Survey. *Industrial Minerals*.
- Loughbrough, R., 1992: TiO₂-pigment. Overcapacity hits again. *Industrial Minerals*. Juni.
- Loughbrough, R., 1993: European paint - Coloured by environmental issues. *Industrial Minerals*, August.
- O'Driscoll, Mike, 1993: Minerals in European plastics - Polypropylene in the driving seat. *Industrial Minerals*, April.
- O'Driscoll, Mike, 1994: Plastic compounding. Where mineral meet polymer. *Industrial Minerals*, Desember.
- Roskill-rapport, 1996: The Economics of Talc (Internet).
- Roskill-rapport, 1996b: The Economics of Precipitated Calcium Carbonate (Internet).
- Schober, W., 1995: Talc for thermoplastics - Future demands the challenge. *Industrial Minerals*. Mai.
- Sims, C., 1997: Talc markets - A world of regional diversity. *Industrial Minerals*, May.
- Sims, C., 1997b: Mica - Building a future on dry ground. *Industrial Minerals*, January.
- Skillen, A., 1992: Mica, Grounds for optimism. *Industrial Minerals*. November.

- Sundblad, K. & Ihlen, P.M. 1995: Gold mineralization in Fennoscandia. An overview. In: Ihlen, P.M. & Stendahl, H. (eds.), Gold mineralization in the Nordic countries and Greenland, Open File Ser. Grønlands geologiske Undersøgelse 95/10, 114-115.
- Tanner Jr., , 1994:
- Toon, S., 1985: Minerals for paint. *Industrial Minerals*, Desember.
- Trivedi, N.C. & Hagemeyer, R. W., 1994: Fillers and coatings. I: Donald D. Carr (Senior Editor): *Industrial Minerals and Rocks. 6th Edition*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado.
- Øvereng, O., u.bearb.: Kvalitetskrav til karbonat-fillere. *NGU-rapport*.

GOLD MINERALIZATION IN FENNOSCANDIA: AN OVERVIEW

K. Sundblad¹ & P.M. Ihlen²

1. Department of Geology and Geochemistry, Stockholm University, S-106 91 Stockholm, Sweden

2. Geological Survey of Norway, Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, Lade, N-7002 Trondheim, Norway

Two major segments of continental crust can be distinguished in northern Europe; 1) the Fennoscandian Shield, subdivided into the Archaean, the Svecofennian and the Southwest Scandinavian Domains (Gaál & Gorbatshev, 1987) and 2) the Caledonides, which constitute a complex of accreted Early Palaeozoic terranes (Stephens, 1988). Economically viable concentrations (as well as minor mineralogical occurrences) of gold have been reported from numerous sites within these two segments in host rocks ranging from Late Archaean through Proterozoic to Early Palaeozoic ages. The by far most common mode of occurrence for economic gold is within epigenetic structures. However, gold is also commonly recovered as a byproduct in many Cu-Zn-dominated, syngenetic, volcanogenic ore types.

Early summaries of Fennoscandian gold metallogeny was made by Gavelin (1930) for Sweden and by Bugge (1935) for Norway. The first metallogenic overview of the entire Fennoscandian Shield was made by Gaál & Sundblad (1990) who noted that more gold mines were active in Fennoscandia during the 1980ies (Enåsen, Saattopora, Bidjovagge, Björkdal and Åkerberg), than during any other part of the mining history in northern Europe. So far during the 1990ies, four new gold mines have gone into production (or been proven to be economic): Pahtohavaare (Kiruna greenstones, northern Sweden), Harnäs (Mjõsa-Vänern district, southwest Sweden), Kutemajärvi (Tampere schist belt, southern Finland) and Ward (Hattu Schist Belt, Ilomantsi area, eastern Finland). Furthermore, during the last five years, results from a number of detailed investigations have been published on various type deposits and a number of key references are now available for most of the gold bearing areas in Fennoscandia (see reference list). Although only five years have gone since the review of Gaál and Sundblad (1990) was published, an updated review of Fennoscandian gold metallogeny is thus already warranted.

1. Gold deposits related to shear zones in Archaean greenstones in the Karelian Province

The Karelian Province is a granite-greenstone terrain in the Archaean Domain of eastern Finland and westernmost Russia. The greenstone belts within this terrain contain a number of significant ore deposits, among them BIF-type iron ores and gold ores. Gold ore prospects have been found both in komatiite-dominated volcanic sequences (e.g. within the Kuhmo-Suomussalmi belt) but the most significant prospects are located in the sediment-dominated Hattu Schist Belt at Ilomantsi, easternmost Finland (Nurmi & Sorjonen-Ward, 1993). The Ilomantsi gold mineralizations are mesothermal and are characterized by relatively high contents of Te, Bi and B and low contents of As, Ag, W and S in contrast to most Archaean deposits in other shield areas. A number of prospects have been located in the Hattu Schist Belt, of which the Ward deposit (8 ppm Au and several hundreds of thousands tons of ore) and the Rämepuro deposit (5 ppm Au and 250 000 tons of ore) are the most promising so far.

2. Gold deposits related to shear zones in Early Proterozoic greenstones in the Nordkalott Province

Ore-bearing volcano-sedimentary greenstone successions have also been recognized in the Paleoproterozoic Nordkalott Province in the northern part of the Fennoscandian Shield, where komatiitic and tholeiitic greenstones occur together with turbiditic meta-sediments. These successions form the host rocks to a number of epigenetic Au-Cu deposits, including the economically viable deposits at Saattopora (Finland), Bidjovagge (Norway) and Pahtohavare (Sweden) as well as a number of subeconomic Au-Co-U deposits in the Kuusamo district in northern Finland. The geology and genesis of the Bidjovagge deposit have been discussed by Bjørlykke et al. (1987) and Ettner (1993). An overview of the Kuusamo district has been provided by Pankka & Vanhanen (1992). These investigations have shown that although the 2.4-2.2 Ga greenstones form the common host rock, the gold controlling structures are invariably related to the 1.9-1.8 Ga Svecofennian orogeny.

3. Gold deposits related to Early Svecofennian volcanogenic hydrothermal activity

A major part of the continental crust within the Svecofennian Domain is built up by ≈ 1.9 Ga Early Svecofennian juvenile volcano-sedimentary successions representing a large variety of palaeo-environments such as ophiolite (Jormua-Outokumpu, eastern Finland; Kontinen, 1987), island arc (Skellefte District, northern Sweden; Rickard, 1986) and continental margin (Bergslagen, south-central Sweden, Vivallo and Rickard, 1984). Each of these environments carry a number of volcanogenic massive sulphide ore deposits, which have been major producers of Cu, Zn and Pb. Furthermore, gold has been extracted as a byproduct in many mines, particularly in the Skellefte District, where gold grades in the range 1-8 ppm have been recorded in individual deposits. A specific feature of Early Svecofennian volcanogenic hydrothermal activity has been recorded at the Enåsen gold mine, which is located far away from any known volcanogenic massive sulphide deposit. Enåsen is a copper-gold ore, hosted by a topaz-bearing quartz-sillimanite gneiss, which has been interpreted as an analogue to recent epithermal gold deposits associated with acid-sulphate alteration in a high sulphidation environment (Hallberg, 1994; Hallberg & Fallick, 1994).

4. Gold deposits related to Early Svecofennian shear events

During a later stage of the Svecofennian orogeny, the Early Svecofennian juvenile crust collided with, and was accreted to, the Archaean craton. This diastrophic event was not only responsible for deformation and metamorphism of all previously existing rocks; it also caused a number of shear zones, which were favourable for generating some of the most significant gold-bearing structures in the Svecofennian Domain. Lead isotopic data indicate that this ore forming event can not have post-dated the volcanogenic ore forming processes with more than 10-20 m.y. (Sundblad et al., 1993). The densest concentration of these shear zone related gold deposits is in the Skellefte district, where two gold mines have opened during the last ten years (Björkdal and Åkerberg) and several other prospects have been documented (Weiher et al., 1992; Bergman, 1992; Broman et al., 1994; Öhlander & Markkula, 1994). Epigenetic gold in tonalitic intrusions are known in the Skellefte District as well as in Pohjanmaa and Rantasalmi in Finland. The Tampere Schist Belt, along the southern margin of the Central Finnish Batholith in southern Finland, is host to a number of structurally controlled gold deposits, which have been focus for

mining during several epochs, e.g. Haveri and Kutemajärvi (Luukonen, 1994). No major shear zone related gold deposits have been revealed in the Bergslagen province. However, epigenetic gold veins, spatially associated with two volcanogenic massive sulphide ores, which formed shortly after the volcanogenic ore forming process, have been reported; Falun (Åberg & Fallick, 1993) and Boviksgruvan (Bergman & Sundblad, 1991).

5. Gold deposits related to post-Svecofennian shear events in southeastern Sweden

Several occurrences of Cu-Au (\pm Co) bearing veins and shear zones occur in southeastern Sweden. These occurrences are most common in Early Svecofennian supracrustal sequences in the immediate vicinity to the major \approx 1.8 Ga Småland-Värmland batholith (Ädelfors and Gladhammar) but the presence of this kind of ores within the granitoids (Solstad) shows that these deposits post-date the emplacement of the batholith. The Ädelfors veins have been proposed to be an analogue to the Mother Lode system in California (Sundblad, 1990).

6. Gold deposits related to Sveconorwegian shear events

A number of polymetallic veins and shear zones occur in the Southwest Scandinavian Domain. The most prominent district extends from lake Mjøsa in southeastern Norway to lake Vänern in southwestern Sweden (Ihlen, 1986; Alm & Sundblad, 1994) but significant gold veins also occur in the Telemark area in southern Norway. The most famous ores include the first gold mine in Norway (Eidsvoll) and the most recent gold mine in Sweden (Harnäs), which both represent veins formed as a result of brittle/ductile deformation during the final part of the Sveconorwegian orogeny.

7. Gold deposits related to Caledonian volcanogenic hydrothermal activity

The Caledonian exotic terranes in Norway and Sweden form the host to a number of volcanogenic massive sulphide deposits representing ophiolites (e.g. Løkken) and island arcs (e.g. Stekenjokk), which have been major producers of Cu and Zn (Vokes, 1988). Small amounts of gold (generally 0.1 to 0.5 ppm) have also been extracted as a byproduct from many of these mines.

8. Gold deposits related to late Caledonian shear events

Several gold-bearing quartz veins are known in the higher nappe complexes of the Scandinavian Caledonides (Ihlen, in prep.). The Kolsvik Au-As vein is associated with brittle shearing of the late Caledonian Bindal Batholith; the Svenningsdal Au-Ag-bearing quartz-sulphide veins have been formed by repeated fault movements in supracrustal rocks close to the contact with the Reinsfjell granite, whereas the Bømlø polymetallic veins are located within a suite of intrusive rocks south of the contact to the Sunnhordaland batholith.

CONCLUSIONS

Gold ore deposits occur in almost all parts of Fennoscandia within a number of geological environments representing a crustal evolution from 2.7 to 0.4 Ga.

The vast majority of all economic gold deposits in Fennoscandia formed during the Proterozoic.

Although gold has been recovered as a byproduct in many volcanogenic massive sulphide ore deposits, the key factor governing formation of most of the productive gold deposits in Fennoscandia is shear structures.

References

- Åberg, A. & Fallick, A.E., 1993. A fluid inclusion and light element stable isotope study of the gold-bearing quartz vein system, Falun, Sweden. *Mineral. Deposita* 28, 324-333.
- Alm, E. & Sundblad, K., 1994. Sveconorwegian polymetallic quartz veins in Sweden. *Neues Jahrbuch Mineralogi Mh.* 1, 1-22.
- Bergman, J., 1992. Structural geology of Grundfors, a quartz vein related gold deposit in the Skellefte district, northern Sweden. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 114, 227-234.
- Bergman, T. & Sundblad, K., 1991. Boviksgruvan, a Au-Bi-bearing sulphide deposit in the Bergslagen province, south central Sweden. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 113, 327-333.
- Broman, C., Billström, K., Gustavsson, K. & Fallick, A.E., 1994. Fluid inclusions, stable isotopes and gold deposition at Björkdal in northern Sweden. *Mineral. Deposita* 29, 139-149.
- Bjørlykke, A., Hagen, R. & Söderholm, K., 1987. Bidjovagge copper-gold deposit in Finnmark, northern Norway. *Economic Geology* 82, 2059-2075.
- Bugge, C., 1935. Gullforekomster i Norge. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 14, 319-324.
- Ettner, D., 1993. Fluid geochemistry of shear zone-hosted gold and copper deposits in the Kautokeino Greenstone Belt, Norway. Ph.D. thesis, University of Oslo.
- Gaál, G. & Gorbatshev, R., 1987. An outline of the Precambrian evolution of the Baltic Shield. *Precambrian Res.* 35, 15-52.
- Gaál, G. & Sundblad, K., 1990. Metallogeny of gold in the Fennoscandian Shield. *Mineral. Deposita* 25, S 104-S 114.
- Gavelin, A., 1930. The gold resources of Sweden. In: *The gold resources of the world.* Bureau of the congress, Pretoria, 379-382.

- Hallberg, A., 1994. The Enåsen gold deposit, central Sweden: 1. A Palaeoproterozoic high sulphidation epithermal gold mineralization. *Mineral. Deposita* 29, 150-162.
- Hallberg, A. & Fallick, A.E., 1994. The Enåsen gold deposit, central Sweden: 2. Light element stable isotope evidence of pre-metamorphic hydrothermal activity. *Mineral. Deposita* 29, 163-169.
- Ihlen, P.M., 1986. Late Proterozoic gold deposits of the Eidsvoll-Odalen district, southeast Norway (Abstract). *Terra Cognita* 6:3, p. 538.
- Kontinen, A., 1987. An Early Proterozoic ophiolite -- the Jormua Mafic-Ultramafic Complex, northeastern Finland. *Precambrian Res.* 35, 313-341.
- Luukonen, A., 1994. Main geological features, metallogeny and hydrothermal alteration phenomena of certain gold and gold-tin-tungsten prospects in southern Finland. *Geological Survey of Finland Bulletin* 377, 153 pp.
- Nurmi, P.A. & Sorjonen-Ward, P., 1993. Geological development, gold mineralization and exploration methods in the Late Archaean Hattu Schist Belt, Ilomantsi, Eastern Finland. *Geol. Surv. Finland Spec. Paper* 17, 386 pp.
- Öhlander, B. & Markkula, H., 1994. Alteration associated with the gold-bearing quartz veins at Middagsberget, northern Sweden. *Mineral. Deposita* 29, 120-127.
- Pankka, H.S. & Vanhanen, E.J., 1992. Early Proterozoic Au-Co-U mineralization in the Kuusamo district, northeastern Finland. *Precambrian Res.* 58, 387-400.
- Rickard, D., 1986. The Skellefte Field. *Sver. Geol. Unders. Ca* 62, 54 pp.
- Stephens, M.B., 1988. The Scandinavian Caledonides. A complexity of collisions. *Geology Today* 4, 20-26.
- Sundblad, K., 1990. Structural and lithological control of the Ädelfors Cu-(Au) veins, southeastern Sweden. *Abstr. vol., 2:nd symp. Baltic Shield, Lund, Sweden*, p. 27.
- Sundblad, K., Weihed, P., Markkula, H., Billström, K. & Mäkälä, M. 1993. Source of metals and age constraints for epigenetic gold deposits in the Skellefte and Pohjanmaa districts, central part of the Fennoscandian Shield. *Mineral. Deposita* 28, 181-190.
- Vivallo, W. and Rickard, D., 1984. Early Proterozoic ensialic spreading-subsidence evidence from the Garpenberg enclave, Central Sweden. *Precambrian Res.* 26, 203-221.
- Vokes, F.M., 1988. Latest Proterozoic and Phanerozoic metallogeny in Fennoscandia. *Proceedings 7th IAGOD Symposium, Schweizerbartsche, Stuttgart*, 41-58.
- Weihed, P., Bergman, J. & Bergström, U., 1992. Metallogeny and tectonic evolution of the early Proterozoic Skellefte district, northern Sweden. *Precambrian Res.* 58, 143-167.

Geologic background for collision, exhumation and reactivation in western Norway (mineralization and related fluid and magmatic activity)

By Elizabeth Eide

Introduction

Tectonic research is challenged by the need to generate sensible mechanisms for exhumation of very deeply subducted rocks following continental collision. These mechanisms must account for metamorphic and structural observations that demonstrate prolonged tectonic activity and reactivation of pre-existing structural features, changing temperature, pressure and fluid conditions, and significant unroofing and erosion. The Caledonian collision history of western Norway involved subduction and high-ultrahigh-pressure (HP-UHP) metamorphism of Baltican crust beneath Laurentia from c. 430-410 Ma; present exposure of these eclogite and higher metamorphic grade rocks in the Western Gneiss Region (WGR) of western Norway requires that post-collisional exhumation tectonics removed crustal thicknesses of 50 to 100 km. Extensive and long-lived fault zones like the Møre-Trøndelag Fault Zone (MTFZ) and Nordfjord-Sogn Detachment Zone (NSDZ), for example, and retrograde metamorphic features throughout the WGR attest to the interaction between fluids, temperature and stress throughout the Siluro-Devonian collision-exhumation process. Importantly, these structural and metamorphic features were overprinted/reactivated numerous times subsequent to Siluro-Devonian exhumation and necessitate careful interpretation in order to extract the products of the various fluid-rock interaction episodes.

General geology and principal geometries

The WGR is generally described as the autochthonous Precambrian basement of Baltica, metamorphosed and deformed together with supracrustal units during Caledonian collision. Eastward transport and stacking of allochthonous nappes over Baltica accompanied the subduction-collision event. The WGR is the most deeply exposed section of the subducted Baltican margin, preserves HP-UHP metamorphic rocks, some of which contain coesite or microdiamond, and exhibits a broad trend of increasing metamorphic grade towards the northwest that corresponds to the westward subduction polarity of the Baltican crust beneath Laurentia. The allochthonous nappes presently overlying the WGR to the east (Jotun Nappe Complex) and to the west (Dalsfjord Nappe suites and Devonian sedimentary basins) comprise basement-cover sequences that were very weakly or non-metamorphosed during the collision-obduction-exhumation processes (Fig. 1).

Kinematic indicators in the WGR basement ('Lower Plate') and the overlying allochthons ('Upper Plate') demonstrate that deformation was accomplished, respectively, by vertical shortening and top-east collision-related compression during the high grade metamorphic event. These collisional fabrics were partly to completely overprinted by top-

west and/or sinistral shear fabrics ascribed to exhumation in an 'extensional collapse' regime, probably accompanied by some lithospheric delamination in Early-Middle Devonian times. Extensional collapse of the orogen was accommodated by vertical shortening/horizontal stretching of the lower crust and large-scale, normal movement on a system of extensional detachments. Top-west transport of the nappes over the exhuming basement was co-eval with formation of Devonian fluvio-alluvial sedimentary basins upon the nappe substrates. exhumation-related geometries are best-exposed and studied in the region between Sognefjord and Nordfjord in the southwestern WGR; there, the relatively shallowly dipping NSDZ and associated extensional mylonite clearly separate basement from the nappe-basin units (Andersen and Jamtveit, 1990; Andersen et al., 1991; Osmundsen and Andersen, 1994; Andersen et al., 1994).

The generally flat-lying geometries around the NSDZ contrast with the orientation of exhumation-related features in the northwestern WGR, just southeast of the MTFZ, although the style(s) of exhumation in both the northwest and southwest WGR may have been similar. The MTFZ and subparallel fabrics in gneisses to the southeast are largely *steeply dipping* and highly attenuated, but nonetheless preserve sinistral and/or dextral shear-sense indicators. Robinson (1995) has described structural evolution in the Moldefjord area of the northwestern WGR as one that included major extensional faulting subsequent to collision, followed by tight folding and sinistral shearing. The fact that the rocks in this part (northwestern) of the WGR were subducted to much greater depths than those in the Sunnfjord area may have necessitated a slightly different style of exhumation, although the general directions of extension-exhumation-related stresses were similar (top-west).

In both north- and southwestern regions of the WGR, reduced pressure and moderate temperature increase during the exhumation process involved fluid circulation through the rocks as mineral-bound fluids were liberated. These fluids enhanced amphibolite facies retrograde metamorphism of the HP-UHP rocks, facilitated minor migmatization and were apparently most effectively channelized along small- and large-scale shear zones (Larsen et al., in review). Recognizing links between structural fabrics and fluid flow is thus integral to the evolution of the post-collisional system in western Norway.

The ductile fabrics associated with exhumation and Devonian basin formation in western Norway were overprinted by several younger episodes of brittle faulting and extension-rift(?) related dike intrusion. These younger, brittle events were associated with sedimentary basin formation on the Norwegian continental shelf, and were sometimes accompanied by fluids and mineralization (see also below).

Geo- and thermochronologic constraints

Phanerozoic age data from western Norway fall into four broad groups: an Ordovician component (ca. 448 Ma), a Mid-Late Silurian component (ca 430-410 Ma), a Late Silurian-Middle Devonian component (ca 410-385 Ma), and various Late Devonian-and-younger events. The Ordovician component is identified via $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology only in the

allochthonous nappe units and is attributed to greenschist facies metamorphism during eastward transport and obduction preceding collision between the two cratons (Berry et al., 1995; Andersen et al., in review; Eide et al., in review); it correlates very well with a magmatic age of 443 Ma on zircon from the Solund-Stavfjord Ophiolite Complex, an accreted terrane also within the Sunnfjord nappe sequences (Dunning and Pedersen, 1988).

The Mid-Late Silurian ages, derived from both eclogites and gneisses in the WGR, are interpreted to date the timing of HP-UHP metamorphism (e.g. Gebauer et al., 1986; Tucker et al., 1990), when the rocks were at temperatures between ca. 500 and 800°C and pressures from 12 to 35 kbar. The Late Silurian through Middle Devonian component groups fairly tightly about an age of 395-400 Ma and was isolated by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data from amphibole and mica and U-Pb ages on titanite. These ages are only found in the basement rocks and have been interpreted to represent the time of cooling of the metamorphic rocks during exhumation; the closure temperatures appropriate for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ systematics in micas indicate the rocks (largely gneisses) passed through ca. 375-400°C at 395-400 Ma (Tucker et al., 1990; Andersen et al., in review; Eide et al., in review).

The post-Mid-Devonian ages in western Norway include an Early Carboniferous rapid cooling/unroofing episode (ca. 350 Ma), a Late Permian episode (ca. 260 Ma) and a Late Jurassic-Early Cretaceous episode (ca. 140-150 Ma). These have been isolated via $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology on K-feldspars and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and paleomagnetic data from fault rocks and dikes. The Early Carboniferous episode corresponded to unroofing of western Norway when both Upper and Lower Plates passed through temperatures of ca. 250 to 220°C. The Late Permian ages have been identified in both brittle fault rocks and dikes and are correlative to a similarly-aged extensional event on the continental shelf; temperatures for fault breccia formation during this event probably were not >200°C (Torsvik et al., 1992; Eide et al., in review). The Late Jurassic-Early Cretaceous brittle faulting event occurred at yet lower temperatures (ca. 150°C) and corresponds similarly well with the age of a major offshore extensional episode; at least in one locality, breccia formation at this time was accompanied by CO₂-bearing fluids and formation of calcite (Eide et al., in review). In the MTFZ, late-stage hydrothermal alteration, mineralization and brittle faulting were related to late Permian, Late Jurassic-Early Cretaceous and, possibly, Late Cretaceous-Early Tertiary tectonic events (Grønlie and Torsvik, 1989). Development of fault gouge and clay at some of these brittle fault sites in western Norway documents even younger reactivation episodes, but the ages of these latest events have not yet been resolved using any of the current techniques.

Selected References

- Altenberger, U., 1996. Material transport in channelized fluids—examples from high temperature shear zones in the Central European Variscan belt. *Mineral. Petrol.*, 57, 51-72.
- Andersen, T.B. and Jamtveit, B., 1990. Uplift of deep crust during orogenic extensional collapse: A model based on field studies in the Sogn-Sunnfjord region of Western

- Norway. *Tectonics*, 9, 1097-1111.
- Andersen, T.B., Jamtveit, B., Dewey, J.F. and Swensson, E., 1991. Subduction and exhumation of continental crust: major mechanisms during continent-continent collision and orogenic extensional collapse, a model based on the south Norwegian Caledonides. *Terra Nova*, 3, 303-310.
- Andersen, T.B., Osmundsen, P.T. and Jolivet, L., 1994. Deep crustal fabrics and a model for the extensional collapse of the Southwest Norwegian Caledonides. *J. Struct. Geol.*, 16, 1191-1203.
- Andersen, T.B., Berry IV, H.N., Lux, D.R. and Andresen, A., in review, The tectonic significance of pre-Scandian $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ phengite cooling ages in the Caledonides of Western Norway.
- Brekke, H. and Solberg, P.O., 1987. The geology of Atløy, Sunnfjord, western Norway. *Nor. Geol. U. Bull.*, 410, 73-94.
- Dobrzynetskaia, L.F., Eide, E.A., Larsen, R.B., Sturt, B.A., Trønnes, R.G., Smith, D.C., Taylor, W.R. and Posukhova, T.V., 1995. Microdiamond in high-grade metamorphic rocks of the Western Gneiss Region, Norway. *Geology*, 23, 597-600.
- Eide, E.A. and Torsvik, T.H., 1996. Palaeozoic supercontinental assembly, mantle flushing, and genesis of the Kiaman Superchron. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 144, 389-402.
- Eide, E.A., Torsvik, T.H. and Andersen, T.B., in review. Absolute dating of brittle fault movements: Late Permian and Late Jurassic extensional fault breccias in western Norway. *Terra Nova*.
- Færseth, R.B., 1996. Interaction of Permo-Triassic and Jurassic extensional fault-blocks during the development of the northern North Sea. *J. Geol. Soc. Lond.*, 153, 931-944.
- Grønlie, A. and Torsvik, T., 1989. On the origin and age of hydrothermal thorium-enriched carbonate veins and breccias in the Møre-Trøndelag Fault Zone, central Norway. *Norsk Geol. Tidss.*, 69, 1-19.
- Larsen, R.B., Eide, E.A., and Burke, E.A.J., in review. Evolution of metamorphic volatiles during exhumation of microdiamond-bearing granulites in the Western Gneiss Region, Norway. *Contrib. Mineral. Petrol.*
- Osmundsen, P.T. and Andersen, T.B., 1994. Caledonian compressional and late-orogenic extensional deformation in the Staveneset area, Sunnfjord, Western Norway, *J. Struct. Geol.*, 10, 1385-1401.
- Roberts, D., 1983. Devonian tectonic deformation in the Norwegian Caledonides and its regional perspectives. *Nor. Geol. U. Bull.*, 380, 85-96.
- Robinson, P., 1995. Extension of Trollheimen tectono-stratigraphic sequence in deep synclines near Molde and Brattvåg, Western Gneiss Region, southern Norway. *Norsk Geol. Tidss.*, 75, 181-198.
- Smith, D.C., 1984. Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics, *Nature*, 310, 641-644.
- Torsvik, T.H., Sturt, B.A., Swensson, E., Andersen, T.B. and Dewey, J.F., 1992.

Palaeomagnetic dating of fault rocks: evidence for Permian and Mesozoic movements and brittle deformation along the extensional Dalsfjord Fault, western Norway, *Geophys. J. Int.*, 109, 565-580.

Torsvik, T.H., Andersen, T.B., Eide, E.A., and Walderhaug, H.J., in press, The age and tectonic significance of dolerite dykes in Western Norway. *J. Geol. Soc. London.*

The Western Gneiss Region, Vestlandet to Fosen : structural setting and the potential for gold mineralisation

By David Roberts

The extensive tract of multiply deformed Proterozoic ortho- and paragneisses which constitute the Western (or Northwestern) Gneiss Region (WGR) holds a unique position in the evolutionary history of the Scandinavian Caledonides. Forming part of the Lower Allochthon of Caledonide tectonostratigraphy, and inferred to represent the outer margin of the palaeoplate *Baltica*, the WGR, in some areas, exposes Scandian metamorphic parageneses indicative of eclogite and granulite facies. Preservation of ultrahigh-pressure (UHP) minerals such as coesite and microdiamond attest to a rapid exhumation of their host rocks, an uplift which has been dated isotopically to latest Silurian to early Mid Devonian time. This followed soon after the major continent-continent collision between *Baltica* and *Laurentia*, in approximately Mid to early Late Silurian time, involving subduction of the Baltoscandian margin and miogeocline beneath the Laurentian plate and generation of UHP parageneses at depths locally well in excess of 100 km .

The complexity of the interplay between subduction, exhumation and its causes, and gravitational collapse of the nappe pile, with broadly coeval extension and the growth of Devonian basins does not concern us directly here. What is relevant in terms of gold mineralisation potential, however, is that these profound tectonothermal instabilities would inevitably have triggered major phase changes in the rocks, involving devolatilisation and fluid release and thus creating temporary hydraulic gradients. Metamorphic dehydration reactions are especially pervasive in very high-grade situations, notably at granulite facies, a consequence of which is that defluidisation would have proceeded by a gradual upward migration of hydrothermal fluids to lower P-T regimes through what were almost certainly low-permeability rock complexes. Although such dewatering processes are basically very slow – and here it should be noted that many crystalline metamorphic rocks have porosities as low as in mudstones -- a more rapid ascent of volatiles and fluids is favoured by structurally induced permeability, generated partly by the continually changing stress regime. Hydraulic fracturing is one such important mechanism, at both microscopic and regional scale, initiating failure when the hydraulic pressure exceeds the confining pressure of the rock body. These structurally induced permeability paths thus facilitate the access of rising fluids, a focused migration or flow which is also aided by zones of steeply inclined foliation and increased fracture density. Ultimately, deposition from the cooling solvent would be expected to occur mainly in the form of vein systems.

Fundamental requirements for the precipitation of economic gold-bearing vein deposits include (i) a source for the large volumes of fluid and for the gold, (ii) conduits to allow efficient, focused flow, and (iii) a means of inducing the precipitation and concentration of the metal. Taking the Western Gneiss Region as a whole, the source of the hydrothermal fluids can readily be sought in the dehydration reactions accompanying what was probably an extensive granulitisation of large segments of the lower crust. Parts of the upper mantle may also conceivably have been involved. The question of source rocks for gold release in this mainly Palaeoproterozoic crystalline terrane is more of a problem. Bedrock geochemical data are unfortunately lacking over much of the region. Whether or not Palaeoproterozoic rift-related greenstone belts (as in northern parts of the Fennoscandian Shield) or even Archaean mafic complexes are present at some depth beneath the present-day surface is open to speculation.

The structural framework of the WGR is one which, at least in theory, carries definite mineralisation potential in terms of focused transport of ascending hydrothermal fluids. The strongly Caledonised Proterozoic complexes are transected by moderately flat-lying, ductile, high-strain zones, in places with mylonites, producing an internal, lensoid, tectonic segmentation of the region. Mylonitic thrust zones also define the soles of thin remnants of several nappes belonging to the Middle and Upper Allochthons. The region, and the Caledonian nappe stratigraphy, is also dissected by extensive brittle or ductile-to-brittle, steeply dipping to vertical fault sets, of which the ENE-WSW-trending Møre-Trøndelag Fault Zone (MTFZ) is the most well known. Both types of structural discontinuity -- the ductile thrusts (later, in many cases, reactivated as extensional faults) and the steep, more brittle faults -- are characterised by concentrated quartz and quartz-calcite vein systems which, in most cases, have not been studied in any detail, if at all. To date, only the vein and breccia systems of segments of the multiply reactivated MTFZ have been investigated in detail, though not as yet from the point of view of potential gold mineralisation. While the intervening comparatively low-strain rock domains, i.e. the areas between the ductile thrusts and the brittle faults, would be less interesting in prospecting terms (since the retrograde reactions accompanying rapid uplift would absorb most of the free fluid present within the rock matrix), the opposite is the case for the intensively veined thrusts and younger fault zones. Potentially interesting targets, in this regard, would be the many points of intersection of the ductile and brittle faults.

Field and laboratory investigations along the MTFZ on the Fosen Peninsula have provided a wealth of evidence indicating that this 10-20 km-wide fault zone has a prolonged history of polyphase displacement. This has varied from strike-slip through oblique-slip to dip-slip in varying temperature and strain regimes. Temporal constraints from isotopic dating and palaeomagnetic studies have indicated ductile sinistral offset in latest Silurian to Early Devonian time, a component of movement which also coincided with a more extensive,

regional, top-to-the-SW sinistral shear. This was followed by ductile-to-brittle (more brittle at younger stages) dip-slip and mainly dextral strike-slip displacements in Late Devonian-Early Carboniferous, Permo-Triassic, Late Jurassic-Early Cretaceous and Late Cretaceous-Early Tertiary times. Studies of the fault complex along its offshore, southwestward extension into the northern North Sea have largely confirmed much of this reactivation history. Other faults of a similar trend to the MTFZ occur in the Molde-Stadlandet district as well as in the near-offshore area of the Trøndelag Platform. Fault sets of other trends (principally NW-SE, N-S and E-W) are known from different parts of the WGR and can generally be related to the changing stress regimes in Late Palaeozoic and Mesozoic times. Some NW-SE faults may be localised along ancient Proterozoic fractures, which in turn may reflect an even older system of megafaults known from other parts of the Fennoscandian and Canadian Shields. Many of the major auriferous, shear-deformation zones of the Canadian Shield, for example, are of Late Archaean age, and some were reactivated hydrothermally during Proterozoic (and younger?) events.

Further evidence that the strike-slip MTFZ and its related second-order faults have functioned as a major zone of channelled, periodic, hydrothermal flow comes from the widespread occurrence of thorium-enriched carbonate veins and breccias in the eastern Fosen-Trondheimsfjord district. Detailed studies there have revealed several pulses of hydrothermal activity ranging from early sodic metasomatism, through Fe- and CO₂-rich fluid infiltration to a major phase of potassic alteration rich in Th and Fe. These episodes of mineralisation are of Permian and Late Jurassic/Early Cretaceous age. Fluorite precipitation dates to both Permian and Late Cretaceous/Early Tertiary time. It has been speculated that the alkali metasomatic alteration may be a product of fenitisation related to a concealed carbonatite body. The only post-Caledonian igneous activity recorded along the fault zone is that of the intrusion of rare alkali-syenite and lamprophyre dykes.

A significant element in the geology of this region is that of the Smøla Terrane, extending in a narrow belt northeastwards from Smøla to Snåsavatnet in the hanging-wall of the MTFZ. A principal component of this terrane is the Smøla-Hitra Batholith, which is composed of a variety of plutonic rocks, mainly granodiorites and diorites, of calc-alkaline, evolved magmatic arc character. These range in age from Mid Ordovician to Early Silurian. Deformed variants of these plutonic rocks can be followed across the Fosen Peninsula; and they also occur in coastal areas of the mainland just northeast of Kristiansund – foliated granodiorites which were earlier thought to be of Proterozoic age. The only other calc-alkaline granitoid rocks of Ordovician age in Central Norway occur further north in the Bindal district, part of the Uppermost Allochthon – and gold mineralisations have been recorded in at least one of these plutons. It is therefore suggested here that the calc-alkaline granitoid rocks of the Smøla Terrane could represent an interesting target for potential gold mineralisation, in particular

along prominent shear zones and in quartz vein swarms at or close to fault/shear zone intersections.

In summary, the Western Gneiss Region offers interesting potential targets for gold prospecting studies, principally along the major, reactivated, composite-fault, shear zones, but also along the many ductile, high-strain zones such as nappe-bounding mylonitic thrusts. These thrust zones in many cases subsequently functioned as dilating extensional faults, which naturally permitted an even easier access for rising hydrothermal fluids. Quartz and quartz-carbonate veins of several generations are abundant locally along such zones of focused hydrothermal flow, but no detailed fieldwork or geochemical studies have yet been carried out on these vein systems. Investigations in the vicinities of shear-zone intersections could prove particularly fruitful. Another potentially interesting target is the granitoid rocks of the Ordovician-Silurian, Smøla-Hitra Batholith and its deformed variants across the Fosen Peninsula. Other possible areas of study not dealt with here relate to 'invisible' gold contained in sulphides and in association with graphite deposits, in appropriate lithological situations which occur scattered throughout the WGR.

Gull i Norge

Av Peter M. Ihlen

«Gold is where you find it» er et kjent uttrykk blant geologer, og indikerer at gull er «over alt» - men i så forsvinnende små partikler at det er svært vanskelig å drive gull-leting med hell. I Norge har NGU drevet gullundersøkelser siden midt på 1980-tallet, med det formål å øke kunnskapen om de kjente norske forekomstene. På dette grunnlaget kan en vurdere muligheten for nye drivverdige forekomster.

- Gull i fast fjell
- Gull i løsmasser
- Både i fast fjell og i løsmasser

- Bø Bømlø
- Bl Bleka
- Br Brustad
- K Kolsvik
- B Biddjovagge
- G Gjeddevann

Den første gullgruvedriften i Norge kom i gang på Eidsvoll i 1758, etter at det ble funnet synlig gull i en kvartsgang i en av de gamle gravene som Odalen kopperverk drev i første halvdel av det 18. århundre. Senere ble lignende gullførende kvartsganger funnet på Bømlø

i Telemark og i Bindal, Nordland.

Det ble neppe utvunnet mer enn ca. 500 kg gull fra slike kvartsganger. Inntil Biddjovagge gull-/koppergruve startet opp i 1985, har Norges bidrag til verdens gullproduksjon hovedsaklig vært knyttet til gull som biprodukt i forbindelse med fremstilling av kopper, sink og bly fra kismalmene i Bleikvassli, Hjerkin og Joma gruver. Biddjovagge gruve produserte fram til nedleggelsen i 1991, ca 6.200 kg gull, til en verdi av 508 millioner kroner, fra en malm som gjennomsnittlig inneholdt 11,5 kg kopper og 3,9 gram gull per tonn malm.

Mange forbinder gull-leting med pannesvask langs elver og bekker på Finnmarksvidda. Gull ble funnet i elvegrusen (såkalt alluvialt gull) nær Karasjok i 1866. I de påfølgende år og fram til siste verdenskrig, ble det påvist en rekke andre vassdrag med gull. Gull ble utvunnet fra en rekke felter, spesielt i området sør for Karasjok. Den totale produksjonen var neppe over 100 kg totalt, selv om det ble funnet gullklumper på opp til 17 gram tilsvarende gullinnholdet i fire gifteringer.

NGUs rolle

NGU har de siste 10 årene drevet gullundersøkelser, både i egen regi og i samarbeid med bergverkselskaper og universiteter i Norge og utlandet. Formålet har først og fremst vært å få økt kunnskap om de kjente forekomstene i Norge. NGUs forskere har i dag høy kompetanse på de mekanismer som kontrollerer dannelsen av gullfore-

komster i fast fjell og alluvialt på Finnmarksvidda. I denne prosessen har NGU også hatt kontakt med legfolk som jakter på gull med vaskepanne i elver og bekker på fritiden. En rekke nye funnpunkter for gull er registrert på denne måten.

NGUs regionale malmforekomstregistrering i de fire nordligste fylkene har også avdekket at en rekke av de gamle gravene og skjerpene er drevet på malmer med økonomisk interessante mengder av gull (> 1 g/t gull). Selv om de fleste av disse malmene er for små til å kunne utnyttes, er de viktige i jakten etter drivverdige forekomster, da slike gjerne opptrer i områder hvor gull har stor utbredelse; i såkalte gullprovinser. En mulig ny gullprovins er definert i indre del av Nord-Troms ved hjelp av geokjemiske analyser av regionens løsmasser.

Hvor finnes gull?

De fleste gullforekomstene som er angitt på kartet, representerer forekomster hvor gullet finnes langs en enkelt kvartsgang eller et system av slike. Denne type gangforekomster er spesielt utbredt innenfor restene av den sveconorvegiske fjellkjede i Sør-Norges prekambrium og i den kaledonske fjellkjede. I beltene av vulkanske bergarter (grønnsteinsbelter) i Finnmark opptrer gullforekomster av en annen type. Disse er knyttet til store regionale skjærsoner (spesiell type av sprekke-/skifrihetssone) som er utviklet under den svecokarelske fjellkjededannelse. Bergartene i og langs skjærsonene fører årer og impregnasjon av sulfider og gull. I noen tilfeller opptrer det også høye konsentrasjoner av gull i kismalmer (Kvannfjell ved Mo i Rana og Godejord øst for Grong) og i kopperrike nikkelmalmer (Ertelien øst for Tyrifjorden).

Skjærsoneforekomstene, som inkluderer Biddjovagge-forekomsten, har store arealmessige dimensjoner i dagen og er derfor godt egnet for dagbruksdrift hvor malmer med et gullinnhold på ned mot 2 gram gull per tonn kan brytes. NGU har påvist to nye områder

Gull i kvartsgang, Bindalen i Nordland.
(Foto: Per Aas, Mineralogisk-Geologisk Museum).

Data NGU har samlet inn, viser at gull opptrer i alle landets geologiske provinser i form av alluvialt gull eller som årer i fjellet.

med denne type forekomster, henholdsvis i Komagfjord-Repparfjord området i Vest-Finnmark og i Pasvik nær grensen til Russland. Videre oppfølging av sistnevnte planlegges i samarbeid med KENOR A/S.

Kvartsgang-forekomstene er generelt små og smale, men er ofte rike på gull som sitter uregelmessig fordelt langs gangene. De er derfor best egnet for underjordsdrift. Malmreserver i størrelsesorden 10 000-100 000 tonn, med rundt 10 gram gull per tonn, er vanlig bl.a på Bømlø i Sørhordland, Bleka i Telemark og Brustad i Eidsvoll. Gullforekomstene i Sør-Helgeland representerer en mellomting mellom skjærsone og kvartsgang-forekomster. NGU har gjennom sine detaljerte undersøkelser av Kolsvik-forekomsten i Bindal vist at den i det minste har et driftspotensial på 0,5 millioner tonn med 5-10 gram /tonn gull; med andre ord gull til en verdi av ca. 300 millioner kroner. Bindal Gruver A/S arbeider nå med å reise kapital for å gjennomføre de arbeider som er anbefalt av NGU før prøvedrift kan settes igang.

En gullforekomst blir til

Gullforekomster er dannet gjennom alle perioder av jordens utvikling. Gull utvinnes fra en rekke ulike typer av forekomster i forskjellige geologiske miljøer, noe som gjenspeiles i uttrykket «Gold is where you find it». Med andre ord; vår viten er fremdeles så begrenset at det er vanskelig på forhånd å si hvor i et gitt område på jorden vi vil finne en gullmalm eller hvordan den vil se ut.

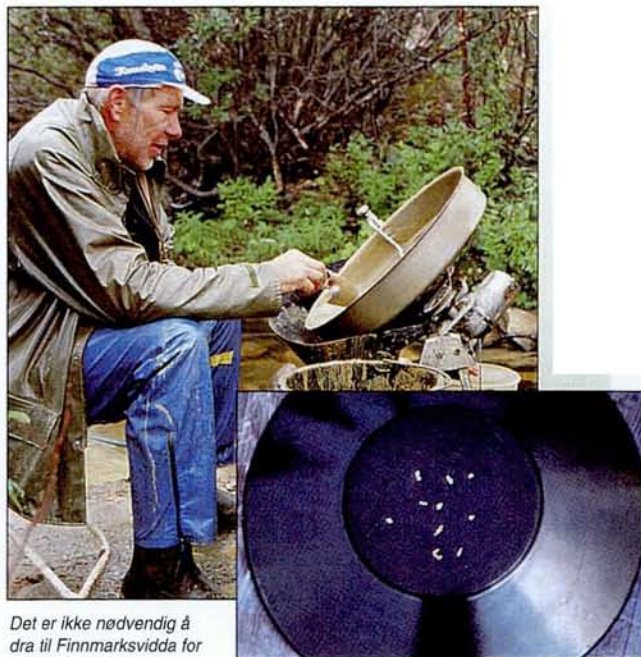
De kjente gullforekomstene i Norge kan klassifiseres som *epigenetiske*, dvs. gullet er avsatt på sprekker i fjellet lenge etter at bergarten/sidesteinen ble dannet. De er dannet fra varmt saltholdig vann med temperaturer mellom 250-350° C og på 8-12 km dyp i jordskorpen. At forekomstene senere har sett dagens lys, skyldes senere jordskorpeheving og erosjon.

I verdenssammenheng er det vanlig å finne slike forekomster i områder hvor det har skjedd store bevegelser i jordskorpen, f.eks. ved fjellkjededannelse, slik at bergartene sprekker opp. Langs disse sprekker vil det strømme vann med varierende opprinnelse og gullinnhold. Siden vannet vanligvis bare inneholder noen milligram gull per liter, kreves det langvarig gjennomstrømning (10 000-100 000 år) av store vannmasser og en effektiv fellingsmekanisme for å danne en økonomisk malm med 10 tonn gull. Vannet vil

transportere gullet oppover i jordskorpen til steder hvor de fysiske og kjemiske forhold er slik at vannet ikke klarer å holde på gullet og andre oppløste komponenter. Gull og andre mineraler, spesielt kvarts og sulfider, felles dermed ut på sprekkeveggene og sprekken kan omformes til en gullholdig og sulfidførende kvartsgang. Prosessen kan sammenlignes med varm te som inneholder mye sukker. Når teen blir avkjølt, vil sukkeret felles ut på bunnen av koppen. Slik utfelling skjer i dag på bunnen av varme kilder i vulkanske områder på Island og New Zealand.

Erosjon fører til at gullpartikler frigjøres fra bergarten de sitter i. I kaldt klima vil gullet bli vasket ut og transportert med overflatevann langs elver og bekker. På grunn av gullet høye egenvekt (19,3 g/cm³), kreves det voldsomme vannmasser som utvikles i perioder med flom. Gull vil bli utfelt i roligere deler av elven og der den renner ut i innsjøer. I elven synker gullet ned mellom steinene i elvebunnen. Siden bunnen stadig rører på seg, vil gullet synke dypere og dypere ned mot berggrunnen. Derfor er det vanlig å finne gull oppkonsentrert på overflaten av underliggende fjell.

Alluviale gullforekomster (placerforekomster) er blitt dannet gjentatte ganger gjennom jordens historie. Den største gullforekomsten i verden er en forsteinet placer eller en paleoplacer som ble dannet i Witwatersrand-området i Sør-Afrika for ca. 2500 millioner år siden.



Det er ikke nødvendig å dra til Finnmarksvidda for å vaske gull. Hvis ønsket bare er å finne noen gullkorn, kan bekken i nabolaget gjøre nytten. Men det vil kreve en del graving og mye pannevasking - tålmodighet er en dyd! Disse bildene er fra Sargejok i Finnmark. (Foto: A.K. Dahl, NGU).

Gullstuff (gull, kvarts) fra Bømlø, Hordaland. Størrelse: 6x3 cm. Vekt: 52,5 g (ca. 40 g gull). (Foto: H.J. Berg/J.H. Hurum, Mineralogisk-Geologisk Museum).



GULL-FAKTA

- Gull (Au) er et grunnstoff og metall som ikke binder seg så lett til andre grunnstoffer; det er et edelmetall.
- Gull er et usedvanlig smibart metall som er lett å bearbeide til smykker og mynter. I motsetning til sølv og kopper reagerer eller anløper det ikke i kontakt med luft eller vann.
- I økonomisk sammenheng forekommer gull i små mengder i naturen. Den årlige produksjon er meget begrenset noe som gjør at metallet har høy pris og egner seg derfor til verdi-gjenstander som smykker.
- Små konsentrasjoner av gull (1-10 tusendels gram pr.tonn) finnes i alt organisk materiale på jorda såvel som i bergarter og vann. Gull i form av synlige korn og klumper er derimot en sjeldenhet.
- Gjennom menneskets historie er det utvunnet ca. 100 000 tonn gull totalt.
- Verdens gruveproduksjon av gull i 1994 var 2296 tonn. Etter dagens pris (82 kr/gram) tilsvarer dette en verdi av vel 188 milliarder kroner. Gullinnholdet i eksisterende malmreserver i verden er 57 000 tonn.
- Omtrent 78 % av den årlige verdensproduksjonen brukes i fremstillingen av smykker, mynter og andre verdigjenstander, mens 10-15 % anvendes av tannleger og glass- og porselensmalere samt i halvlederteknologi, bl.a. gullebelegg på koblinger i data-maskiner. Små mengder brukes også i medisin, bl.a. i behandlingen av reumatisme.
- Bare 7 % av den årlige verdensproduksjon går til gullbarer som hovedsaklig lagres i verdens riksbanker som sikkerhet for lån. Norges Bank har størsteparten av sin gullbeholdning oppbevart i Bank of England i London.