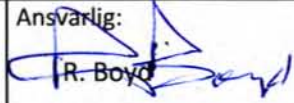


NGU Rapport 2011.038

Muligheter for verdiskaping ved CO₂-basert
prosessering av mineralske råvarer: Egnede
forekomster i Nordland.

Rapport nr.: 2011.038		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Muligheter for verdiskaping ved CO ₂ -basert prosessering av mineralske råvarer: Egnede forekomster i Nordland.			
Forfatter: Are Korneliussen		Oppdragsgiver: NGU, Nordland fylkeskommune og Innovasjon Norge	
Fylke: Nordland		Kommune: Ballangen, Evenes, Tjeldsund, Bodø	
Kartblad (M=1:250.000) Narvik, Bodø, m.fl.		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1331.1 Skjomen, 1331.1 Skjomen, 1331.4 Evenes, 1332.3 Tjeldsundet, 2029.2 Misvær, m.fl.	
Forekomstens navn og koordinater: Råna (Bruvann 58011/7581100), Rørvika (570500/7574700), Misvær (498900/7441400)		Sidetall: 36	Pris: kr 125,-
Feltarbeid utført: -		Rapportdato: 17.02.2012	Prosjektnr.: 334600
		Ansvarlig:  R. Boye	
Sammendrag: <p>Nordland så vel som landet for øvrig har betydelige muligheter for økt mineralbasert verdiskaping blant annet gjennom kombinasjon av primær råvareproduksjon (gruvedrift) og bruk av naturgass for videreforedling av mineralske råvarer. Slik industriell produksjon vil imidlertid i de fleste tilfeller medføre utslipp av betydelige mengder CO₂ som må tas hånd om på en miljøakseptabel måte. Med dette utgangspunktet testes et idé konsept som har som formål utvikling av en industrirelevant prosess for oppløsning av bestemte bergartstyper i karbonsyre. Visse bestanddeler av de oppløste bergarter binder CO₂ og danner karbonatmineraler og gir således mulighet for mineralogisk lagring av CO₂, mens andre komponenter kan utgjøre verdifulle produkter for salg. Denne type prosess kan åpne opp for en betydelig industriell verdiskaping.</p> <p>Egnede mineraler/bergarter for CO₂-basert prosessering er først og fremst mineralet olivin som opptrer i bergartene dunitt og peridotitt både i Nordland og ellers i landet. Olivin er spesielt egnet for binding av CO₂ som karbonat hvilket kan lagres/deponeres (mineralogisk CO₂-lagring) i kombinasjon med produksjon av nikkel og silika som er frigjort fra olivin. De viktigste forekomster i fylket i denne sammenheng er i Rånafeltet i Ballangen. En annen bergart som sannsynligvis vil være egnet for binding av CO₂ er en apatittholdig pyroksenitt bergart i Misvær. En tredje mulighet for CO₂-basert mineralindustri er produksjon av høyren kalsiumkarbonat (PCC) via karbonsyreoppløsning av kalkspatmarmor; en rekke forekomster i fylket kan være egnet.</p> <p>Det er viktig å være klar over at denne rapporten kun påpekes visse muligheter for industriell anvendelse av CO₂ og hvilke mineralressurser som kan være egnet, med særlig henblikk på Nordland fylke, men uten å gi lønnsomhetsvurderinger. Rapporten går hånd i hånd med en annen rapport som omhandler den eksperimentelle og prosestetniske delen av prosjektet.</p>			
Emneord:	Mineralressurs	CO ₂	
Industrimineraler	Olivin	Anortositt	
Karbonat	Fagrapport		

INNHOOLD

1.	UTVIDET SAMMENDRAG	5
2.	BAKGRUNN	6
	Generell bakgrunnsinformasjon og tidligere arbeider.....	6
	Den direkte foranledning for prosjektet og dets formål.....	8
3.	INTEGRERT GASS-, CO ₂ - OG MINERALBASERT VERDISKAPING.....	8
	Mineralbasert verdiskaping	8
	CO ₂ som ressurs for mineralbasert verdiskaping.....	9
	Generelle betraktninger	9
	Potensial for verdiskaping for noen råstofftyper	11
	Bergarter egnet for binding av CO ₂	13
	Bergarter med potensial som aluminiumråstoff men med liten evne til CO ₂ -binding.....	13
	Kalsiumkarbonat - Stort verdipotensial uten mulighet for binding av CO ₂	14
	Kjøøy-konseptet for CO ₂ -basert verdiskaping.....	16
	Visjon 100.....	18
4.	EGNEDE NASJONALE MINERALRESSURSER	19
	Generelle betraktninger.....	19
	Ressurstyper egnet for gassbasert industriproduksjon	20
	Jernmalm forekomster	20
	Jern-titan forekomster.....	21
	Ressurstyper egnet for CO ₂ -basert industriproduksjon.....	22
	Olivinrike bergarter inkl. peridotitt og serpentinit.....	22
	Klinopyroksenitt, hovedsakelig augittrike bergarter	22
	Anortositt og nefelinsyenitt.....	23
	Kalsiumkarbonat.....	24
5.	PRIORITERTE MINERALRESSURSER I NORDLAND	25
	Sammendrag	25
	Jernmalm.....	26
	Kalsiumkarbonat	27
	Dolomitt	29
	Råna nikkol-olivin forekomst i Ballangen.....	30
	Apatittholdig klinopyroksenitt i Misvær	31
6.	DISKUSJON	31

Hvorfor satse på mineralbasert verdiskaping.....	31
God nasjonal tilgjengelighet av egnede mineralske råvarer for CO ₂ -basert prosessering.....	32
Behov for miljøakseptable deponiløsninger.....	33
Behov for videreutvikling av gass/CO ₂ -relevante mineralske råvarer.....	33
Scenario for videre utvikling.....	34
7. KONKLUSJON	35
8. REFERANSER	35

FIGURER

Fig. 1: Verdiproduksjon i gruvedrift og prosessindustri.....	9
Fig. 2: Potensial for gass- og CO ₂ -basert verdiskaping for fire råvaretyper	10
Fig. 3: Kalsiumkarbonat verdiskapingsmuligheter.	14
Fig. 4: Flytskjema for selektiv karbonsyreoppløsning og utfelling.	15
Fig. 5: Illustrasjon av prinsippet for integrert pulverisering og oppløsning av olivin.....	16
Fig. 6: Kombinert gass-mineral og CO ₂ -mineral flytskjema.....	17
Fig. 7: Visjon 100 scenarioet.....	18
Fig. 8: Ressurstilgjengelighet for industriscenario Evenes-Tjeldsund.	19
Fig. 9: Jernforekomster i Nord-Norge.....	20
Fig. 10: Forenklet Gass-Jernmalm flytskjema med mineralogisk CO ₂ -håndtering	21
Fig. 11: Forekomster av titan (rutil) og jern-titan.....	21
Fig. 12: Utvalgte forekomster av olivin-rike bergarter og pyroksenitt.....	22
Fig. 13: Forekomster av anortositt og nefelinsyenitt (inkl. lardalitt) i Norge.....	23
Fig. 14: Karbonatforekomster og -bergarter i Norge, i Nord-Norge og i Ofoten.	24
Fig. 15: Jernforekomster i Nord-Norge.	26
Fig. 16: Opptreden av karbonat i Nordland.....	27
Fig. 17: Rørvika karbonatforekomst ved Evenes.	28
Fig. 18: Oversiktskart som viser noen dolomittforekomster i Nordland.....	29
Fig. 19: Geologisk kart over Råna intrusjonen, Ballangen	30
Fig. 20: Geologisk kart, Misvær pyroksenitt (Solli m. fl 1992).....	31
Fig. 21: Tilgjengelighet av relevante mineralske råvarer fra gruver i drift.	32
Fig. 22: Scenario for videre utvikling av Kjeøy konseptet	34

TABELLER

Tabell 1: Noen relevante bergartstyper for CO ₂ -prosessering.	11
Tabell 2: Indikativ teoretisk potensial for verdiskaping basert på noen mineralske råvarer.....	12

1. UTVIDET SAMMENDRAG

BAKGRUNN OG FORMÅL

Nordland og Nord-Norge så vel som store deler av landet for øvrig, har betydelige muligheter for økt mineralbasert verdiskaping hvis en kan kombinere primær råvareproduksjon i form av gruvedrift med bruk av naturgass for videreforedling av mineralske råvarer. Gassbasert videreforedling av mineralske råvarer vil imidlertid i de fleste tilfeller medføre utslipp av CO₂. Det er behov for utvikling av nye løsninger for miljøakseptabel CO₂-håndtering, og som fortrinnsvis også benytter CO₂ som reagens i videre industrielle prosesstrinn.

Med dette utgangspunktet testes et idé konsept som har som FORMÅL å utvikle en industrirelevant prosess for dekomponering (/oppløsning) av olivin og andre mineraler/bergarter i karbonsyre (også kalt kullsyre, dannet ved oppløsning av CO₂ i vann). Dette støttes økonomisk av Nordland fylkeskommune, Innovasjon Norge og NGU.

I prosessen som er under utvikling bindes CO₂ til mineralske komponenter fra den dekomponerte bergarten og danner karbonatmineraler. Karbonatmineraler må deponeres enten i deponier på land eller på sjøbunn. Prosessen gir også en mulighet for produksjon av andre mineralske komponenter som silisiumoksid (silisiumråstoff), aluminiumoksid (aluminiumråstoff) og nikkel (råvare for produksjon av rustfritt stål).

Den eksperimentelle fokus har vært å undersøke om anvendelse av svært kraftige energipulser kan gi rask oppløsning av visse bergarter i karbonsyre, noe som har vist seg å være tilfelle (Walder m.fl. 2011). Med basis i de eksperimentelle resultatene og erfaringene som er oppnådd kan en se konturene av en framtidig industriell prosess.

Prosjektet utarbeider to rapporter, den ene tar for seg de laboratorieeksperimenter som er utført og hvordan en tenker seg den prosesstekniske videreutviklingen og den andre (denne rapporten) tar for seg hvilke mineralressurser som kan være egnet for CO₂-basert prosessering.

Rapportene vurderer ikke konseptets lønnsomhet; slike vurderinger må inngå i en framtidig videreutvikling av konseptet.

EGNEDE TYPER AV MINERALFOREKOMSTER FOR INTEGRERT GASS-, CO₂- OG MINERALBASERT INDUSTRIPRODUKSJON

Den industrielle utviklingen som skisseres har to hovedkomponenter; den ene er basert på gass og mineraler og den andre på CO₂ og mineraler. For gassbasert (LNG) industriutvikling foreligger en rekke muligheter, som for eksempel produksjon av jern fra jernmalm og av brent kalk/dolomitt fra dertil egnede karbonatforekomster. Nordland har betydelige ressurser av disse typene både relatert til bedrifter i produksjon og i form av forekomster som ikke er i produksjon. Den grunnleggende forutsetning for en gass-mineral basert industriell utvikling er følgelig til stede.

Den andre hovedkomponenten i industriscenariet er bruk av CO₂ som reagens i en annen type industriproduksjon som baserer seg på karbonsyreoppløsning av visse type bergarter. I denne prosessen bindes CO₂ til mineralske bestanddeler fra den oppløste bergarten og danner karbonatmineraler som i all hovedsak må deponeres (mineralogisk CO₂-lagring). Samtidig frigjøres potensielt verdifulle andre mineralogiske komponenter som SiO₂ (silisiumdioksid), Al₂O₃

(aluminiumtrioksid), Ni (nikkel) og CaO (kalsiumoksid) avhengig av hvilken type bergarter som prosesseres. Disse mineralogiske komponentene kan gi grunnlag for ny verdiproduksjon i tillegg til den gassbaserte verdiproduksjonen.

Egnede mineraler/bergarter for CO₂-basert prosessering er mineralet olivin ((Mg,Fe)₂SiO₄) som opptrer i bergartene dunititt og peridotitt i store mengder både i Nordland og ellers i landet. Olivin er spesielt egnet for binding av CO₂ som karbonat i kombinasjon med produksjon av verdifulle produkter av nikkel og silika. De viktigste forekomster er i denne sammenheng i Rånafeltet i Ballangen.

En annen bergart som kan tenkes egnet for binding av CO₂ er en apatittholdig pyroksenitt i Misvær. I dette tilfellet kan en tenke seg produksjon av apatitt ved konvensjonell teknologi, kombinert med CO₂-basert prosessering av den resterende bergarten for mineralogisk binding av CO₂ og eventuelt produksjon av silika.

En tredje mulighet for CO₂-basert industriproduksjon er selektiv karbonsyreoppløsning av kalsiumkarbonat og utfelling av et verdifullt høyrent produkt. I dette tilfellet bindes ikke CO₂ i nytt mineralogisk materiale, og nettoeffekten mht CO₂-forbruk blir derfor null. En rekke forekomster i fylket som inneholder mineralogisk høyren kalsiumkarbonat kan tenkes å kunne være egnet.

KONKLUSJON

Egnede råvarer for en gass-mineral basert industriell utvikling i Nordland så vel som i landet for øvrig er tilgjengelig i dagens marked; gass i form av LNG, jernmalm fra LKAB/Narvik, Rana Gruber eller Sydvaranger, olivin fra Åheim (Sibelco Nordic) i Møre og Romsdal og anortositt fra Gudvangen i Sogn og Fjordane (Gudvangen Stein). Kalkspat i forskjellige kvaliteter er tilgjengelig fra gruver i produksjon en rekke steder i landet inkludert Nordland. Industriutviklingen kan i prinsippet skje på et dertil egnet sted ved sjø og baseres på råvarer levert med båt. utfordringen er i første rekke CO₂-mineral prosessutviklingen som kan gjøre en slik utvikling mulig, dernest lokalisering av egnede steder for en slik industriell utvikling. Relevant FoU hånd i hånd med annen tilrettelegging vil styrke fylkets muligheter for denne type industriell utvikling.

Selv om gass-CO₂-mineral basert industriell utvikling kan gjøres basert på ressurser tilgjengelig i dagens marked slik som skissert ovenfor, så skal en være klar over at nye ressurser kan gi nye muligheter. Potensielt egnede mineralressurser i fylket som ikke er i drift i dag men som kan tenkes å kunne gi grunnlag for industriell i framtiden, bør derfor vurderes i større detalj med dette for øye. Dette gjelder i første rekke olivin/nikkel-forekomster i Rånafeltet i Ballangen, forekomster av kalsiumkarbonat i Evenesområdet og en apatitt/pyroksenitt-forekomst i Misvær.

2. BAKGRUNN

GENERELL BAKGRUNNSINFORMASJON OG TIDLIGERE ARBEIDER

Dekomponering av bergarter ved naturlig forvitring gjennom millioner av år og karbonatdannelse ved at CO₂ binder seg til mineralogiske komponenter (MgO, CaO, FeO) fra bergarter som forvitrer, er en av naturens egne prosesser for binding av CO₂. En annen av naturens metoder er hydrotermal

omvandling ved CO₂-holdige løsninger av for eksempel olivinrike bergarter i jordskorpa. Olivin består av et Mg endeled og et Fe endeled og har formelen (Mg,Fe)₂SiO₄; i de fleste tilfeller dominerer Mg over Fe, med >80% Mg i endeledet. Fra Mg-olivin dannes karbonatmineralet magnesitt ved reaksjonen Mg₂SiO₄ (forsteritt) + CO₂ → MgCO₃ (magnesitt) + SiO₂ (kvarts).

Den oppmerksomhet som i de senere år er gitt CO₂ som klimagass og teknologi for å motvirke økningen av CO₂ i atmosfæren, har initiert en variert forskningsinnsats internasjonalt. Noe av denne forskningen har vært rettet mot binding av CO₂ i mineralogisk materiale tilsvarende det som skjer i naturen. Den store utfordringen er å få prosessen til å skje såpass raskt at dette kan gjøres industrielt.

Ulike typer av laboratorieeksperimenter er utført i forskjellige land for å finne en løsning på hvordan øke reaksjonshastigheten ved oppløsning av bergarter i karbonsyre (den syren som dannes når CO₂ løses i vann). Mye av denne forskningen har vært rettet mot eksperimenter ved høyt trykk, fordi mer CO₂ kan løses i vann ved høyt trykk, og syren blir derfor kraftigere og bergarten løses raskere.

I Norge har Institutt for Energiteknikk (IFE) arbeidet med denne problematikken. Denne forskningen har ikke bare vært rettet mot binding av CO₂ i mineralogisk materiale, men også hvilke verdifulle mineralske komponenter som kan produseres, se for eksempel Münz m.fl. (2009). I praksis har mye av innsatsen vært rettet mot å øke reaksjonshastigheten, og det er eksperimentert hovedsakelig med olivin ved trykk 100-150 bar (atmosfærer) og temperatur 100-150 °C.

I samarbeid med IFE ble det utført et doktorgradsprosjekt ved Institutt for Geologi og Bergteknikk ved NTNU for å undersøke i hvilken grad deformasjon av mineralkorn ved en spesiell møllemetodikk (mekanisk aktivering) kan bidra til å øke reaksjonshastigheten i karbonsyre (Haug 2010).

Kjeøy Research and Education Center (KREC; lokalisert på Kjeøy i Lødingen i Nordland) har også forsket på karbonsyreoppløsning av bergarter, men rettet mot karbonsyreomvandling over lang tid (uker og måneder) ved atmosfæriske forhold. Denne forskningen har vært i samarbeid med det svenske gruveselskapet LKAB, og har spesielt vært rettet mot mineralogisk binding av CO₂ i avgangsmateriale fra jernmalm gruvedriften i Kiruna.

Alt i alt har denne forskningen resultert i en mengde informasjon om kjemiske reaksjonsmekanismer o.a., men så vidt vites har ingen hittil lyktes i å få til en industrirelevant metodikk for karbonsyrenedbrytning av bergarter og mineralogisk binding av CO₂. En hovedgrunn er at den kjemiske nedbrytningsprosessen går for sakte, selv ved høyt trykk og temperatur. En annen grunn er at kompleksiteten og kostnadene forbundet med en industriell prosess ved høyt trykk.

Storskala industriutbygging basert på oppløsning ved høyt trykk og temperatur er neppe realiserbar i overskuelig framtid av praktiske og teknisk/økonomiske grunner, men en slik prosess kan kanskje bli egnet for småskala produksjon av spesialprodukter, men i så fall blir forbruket av CO₂ beskjedent. Det er sannsynlig at storskala industriutbygging med stor materialgjennomstrømning kun kan realiseres ved prosessering under atmosfæriske forhold. Hovedutfordringen er å få til rask nok oppløsning av egnede mineraler i karbonsyre ved atmosfæriske forhold uten kostbar toppkonsentrasjon av CO₂ (CO₂-fangst). Det nåværende prosjektet tar sikte på å ta et avgjørende skritt i denne retning.

DEN DIREKTE FORANLEDNING FOR PROSJEKTET OG DETS FORMÅL

Nordland fylkeskommune etablerte for noen år siden idégruppen "Gassmaks Nordland"¹ for å utvikle ideer og muligheter for gassbasert industri i fylket. Bakgrunnen var en engstelse for at gass fra eventuell framtidig gassproduksjon på sokkelen utenfor Nordland kommer til å bli sent i rør sørover uten ilandføring og industriell anvendelse i fylket.

Med denne bakgrunn ble undertegnede (Korneliusen) invitert til å ha et foredrag på et Gassmaks Nordland møte i Narvik i februar 2009 om muligheter for bruk av gass rettet mot mineralbasert verdiskaping. Dette møtet ble fulgt opp av et nytt møte på NGU i Trondheim i mai samme år.

Det ble deretter i samarbeid med KREC (prosjektansvarlig) utarbeidet en søknad til Nordland fylkeskommune og Innovasjon Norge om prosjektmidler for å teste et nytt idékonsept for oppløsning av olivin i karbonsyre. Prosjektet fikk bevilgning og eksperimentene kom i gang på Kjeøy senhøstes 2010 og ble avsluttet i februar 2011. Mineralogiske reaksjonsprodukter etter denne eksperimenteringen ble analysert våren 2011, jfr. særskilt rapport (Walder m.fl. 2011).

FORMÅLET med det nåværende prosjektet er å utvikle en ny metodikk for rask og energieffektiv karbonsyreoppløsning av olivin ((Mg,Fe)₂SiO₄, med inntil ca. 0,4 % silikatbundet Ni) som også kan benyttes på andre mineraler og bergarter. Metoden (inntil videre kalt Kjeøy prosessen) innebærer bruk av svært kraftige energipulser for både pulverisering av bergarten og omrøring i reaksjonsmassen, alt ved atmosfærisk trykk og temperatur.

Prosjektet utarbeider to rapporter, den ene omhandler den eksperimentelle delen (Walder m.fl. 2011) mens den andre (denne rapporten) er rettet mot vurdering av hvilke mineralressurser som kan være egnet.

3. INTEGRERT GASS-, CO₂- OG MINERALBASERT VERDISKAPING

MINERALBASERT VERDISKAPING

Mineralproduksjon med utgangspunkt i gruvedrift er i hovedsak lokalisert til de mest egnede forekomster, som fra naturens side finnes rundt om i det ganske land. Mineralnæringen er derfor en distriktsnæring. Norges primære mineralproduksjon (Bergindustrien) omsatte i 2010 for 10.8 MRD kr med ca. 5000 arbeidsplasser (Neeb m. fl. 2011). Landet har en betydelig prosessindustri (hovedsakelig smelteverk) som i stor grad er basert på importerte mineralske råvarer (til en verdi som har variert fra 18 til 31MRD kr i løpet av de siste årene). Prosessindustriens betydning sammenlignet med bergindustrien er illustrert i Fig. 1.

Mineralprosessering (oppredning) som skjer i tilknytning til gruvedrift for å produsere salgbare mineralske produkter, regnes i denne sammenheng som en del av gruvedriften. Med mineralbasert prosessindustri menes industri som videreforedler mineralske råvarer produsert ved gruvedrift. Et eksempel er bergarten kvartsitt som i Nordland produseres ved Mårnes i Gildeskål og som videreforedles via en smelteprosess til mellomproduktet ferrosilisium ved Salten Verk i Sørfold og

¹ Arbeidsgruppen Gassmaks Nordland gjennomførte i 2010 en mulighetsstudie for økt bruk av naturgass i Nordland (Nordmo m.fl. 2010).

Fesil i Mo i Rana (produksjon av silisiummetall er basert på importerte råvarer, men vil i framtiden delvis kunne dekkes av en kvartsforekomst i Nasafjell som er under utvikling). Et tilsvarende eksempel er import av alumina (aluminiumoksid) som i Nordland videreføres via en smelteprosess til aluminium metall av Alcoa i Mosjøen.

Historisk sett billig vannkraft og spisskompetanse innen metallurgi har vært det nasjonale konkurransefortrinnet som har gjort det mulig å bygge opp en internasjonalt sett betydelige

prosessindustri. Vannkraft er fortsatt et konkurransefortrinn, men er ikke like billig som før.

Et nytt konkurransefortrinn er gass, med store potensialer for en ny industriell utvikling.

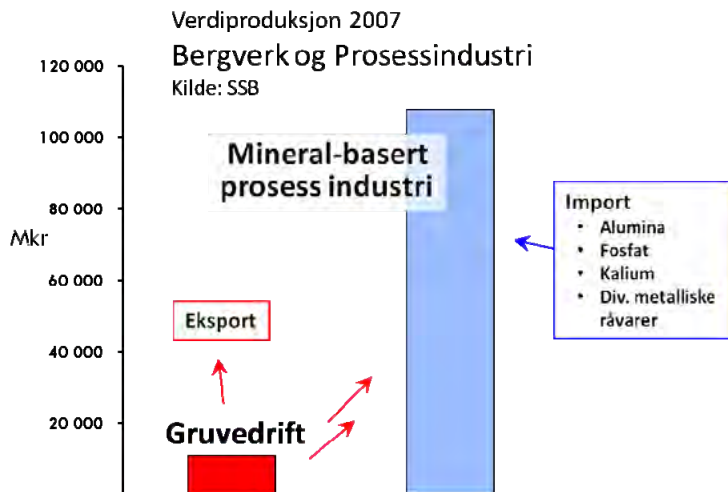


Fig. 1: Verdiproduksjon i gruvedrift og prosessindustri.

CO₂ SOM RESSURS FOR MINERALBASERT VERDISKAPING

Generelle betraktninger

Bergarter består av mineraler som for eksempel kvarts, olivin og feltspat i ulike kombinasjoner, og mineraler består av grunnstoffer som silisium (Si), kalsium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), oksygen (O) m.fl. Et minerals kjemiske sammensetning er angitt ved de grunnstoffer det inneholder, for eksempel kvarts (SiO₂), olivin ((Mg,Fe)₂SiO₄) og anortitt (CaAl₂Si₂O₈, som er en type feltspat).

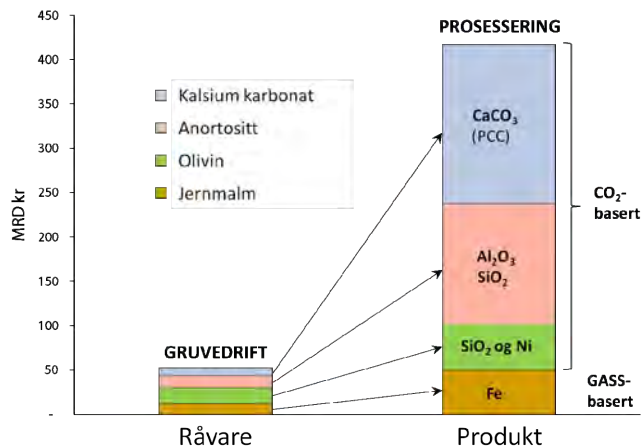
Ved gruvedrift og påfølgende mineralprosessering (oppredning) er formålet ofte å produsere rene mineralkonsentrater egnet for videre bruk i ulike industrielle prosesser. Men selv om gruvedrift i seg selv kan ha stor verdiskaping og betydelige økonomiske og samfunnsmessige ringvirkninger for de respektive lokalsamfunn, så ligger det langt større potensial for verdiskaping i nedstrøms prosessering.

Bruk av gass i industrielle prosesser på land har potensial for betydelig verdiskaping og næringsmessige ringvirkninger, men krever en miljøakseptabel håndtering av de relativt store mengder CO₂ som samtidig produseres. Anvendelse av gass i industrielle prosesser som medfører dannelse av CO₂ er for eksempel gassbasert produksjon av elektrisitet, gassbaserte jernverk og gassbasert produksjon av brent kalk.

Det er en stor utfordring å utvikle kostnadseffektive og miljøakseptable industrielle løsninger som benytter CO₂ fra gassbasert industriproduksjon. I denne rapporten skisseres en løsning som innebærer oppløsning av visse bergartstyper i karbonsyre med binding av CO₂ i karbonatmineraler som må deponeres (mineralogisk CO₂-lagring) kombinert med produksjon av andre mineralske bestanddeler for salg.

Informasjon om noen aktuelle bergartstyper for CO₂-basert prosessering (oppløsning i karbonsyre) er oppsummert i Tabell 1, mens potensialer for verdiskaping basert på 100 Mt² råvare er oppsummert i Fig. 2 og Tabell 2.

Jernmalm³, olivin², anortositt² og kalsiumkarbonat² er nasjonale lett tilgjengelige råstofftyper hvor eksisterende gruvedrift kan levere råvare til aktuelle prosesseringsbedrifter. Det er en fordel at en ikke vil være avhengig av å åpne ny gruvedrift for å kunne utvikle industri som nyttiggjør CO₂ som



råvare⁴. Utfordringen er først og fremst prosessteknisk, som nærmere beskrevet av Walder m.fl. (2011), samt å identifisere de mest egnede mineralressurser for den prosessen som er under utvikling (denne rapporten).

Fig. 2: Indikativ potensial for gass- og CO₂-basert verdiskaping for fire råvaretyper med utgangspunkt i 100 Mt råstoff for hver av disse. Basert på Tabell 2.

Fig. 2 gir en antydning av de store muligheter som eksisterer relatert til CO₂-basert videreforedling av de tre ressurstypene olivin, anortositt og kalsiumkarbonat, sett i forhold til råvareverdien. Men dette forutsetter at den nødvendige teknologien er ferdig utviklet, noe den enda ikke er. Og skal en slik teknologi kunne realiseres så må den være kommersielt lønnsom i tillegg til å være miljømessig gunstig. Denne rapporten påpeker visse muligheter, men gir ingen lønnsomhetsvurdering. Til sammenligning er gassbasert videreforedling av jernmalm til jern (kjent teknologi) inkludert i figuren.

Når det gjelder konvensjonell videreforedling (ikke inkludert i figuren) av de tre ressurstypene olivin, anortositt og kalsiumkarbonat, så er det kun for kalsiumkarbonat at dette kan gjennomføres i stor skala. Dagens gruvedrift på kalsiumkarbonat i Brønnøya (Brønnøya Kalk) med videreforedling til GCC (Ground Calcite Carbonate) ved bedriften Hustadmarmor i Elnesvågen i Møre og Romsdal, med en årlig verdiproduksjon på i størrelsesorden 1 MRD kr, er et eksempel på hvordan dette gjøres.

For anortositt og olivin representerer CO₂-basert videreforedling en mulighet for ny verdiskaping som gir andre produkter med andre markedsmuligheter enn ved konvensjonell industriproduksjon basert

² 100 millioner tonn råvare er valgt som sammenligningsgrunnlag for å antyde verdipotensialet relatert til prosessering. Hvorvidt de muligheter kan realiseres er en helt annen sak, men potensialet foreligger.

³ Jernmalm er i denne forbindelse råvare for produksjon av magnetitkonsentrat som videreforedles til metallisk jern i en gassbasert produksjonsprosess som avgir CO₂, mens olivin (egentlig bergarten dunitt), anortositt og kalsiumkarbonat er bergarter som kan tenkes videreforedles i en CO₂-basert produksjonsprosess. Se mer detaljert omtale i Kap. 4.

⁴ Institutt for Energiteknikk (IFE) har gjort en betydelig innsats rettet mot bruk av CO₂ som reagens for dekomponering av olivin (dunitt) og anortositt blant annet igjennom prosjekter finansiert av Forskningsrådet. IFE's CO₂-mineral forskning er basert på eksperimenter ved høyt trykk og temperatur, og er i så henseende forskjellig fra Kjeøy-eksperimenteringen som skjer ved atmosfæriske betingelser, men problematikken er ellers ganske lik. Når det gjelder anortositt har IFE opplyst (nov. 2011) at det er gjennomført et vellykket forskningsprosjekt i samarbeid med Nordic Mining som eier anortositt gruvedriften Gudvangen Stein, rettet mot produksjon av alumina via syreoppløsning av anortositt. Oppløsningen gjøres ved bruk av vanlig mineralsyre (altså ikke karbonsyre) ved atmosfæriske forhold. Alumina gjenvinnes ved ulike prosessstrinn, og ved å tilsette CO₂ dannes kalsiumkarbonat (PCC) som et biprodukt.

på de samme råvarene, mens produksjon av PCC (Precipitated Calcium Carbonate) fra kalsiumkarbonat til dels tar sikte på det samme marked som konvensjonell GCC-produksjon.

Potensial for verdiskaping for noen råstofftyper

Som det framgår av Tabell 1 har olivin langt større MCCS (Mineral Carbon Capture and Storage) potensial enn klinopyroksenitt, som igjen har langt større MCCS-potensial enn anortositt.

Både olivin, klinopyroksenitt og anortositt har potensial for produksjon av verdifulle produkter av SiO₂ (silika), mens anortositt i tillegg har potensial for Al₂O₃ (alumina), og olivin har potensial for nikkell som er bundet i mineralets krystallstruktur og som frigjøres ved oppløsning i karbonsyre. Kalsiumkarbonat som er et CO₂-holdig mineral (CaCO₃), har intet MCCS-potensial men har tilgjengelig muligheter for verdiskaping via selektiv oppløsning og dernest utfelling som et rensert kalsiumkarbonat produkt.

Tabell 1: Noen relevante bergartstyper for CO₂-prosessering.

Bergart/ forekomst type	Vekt %						MCCS ¹	Ressurspotensial		Produkter
	Ni	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO		Hele landet	Nordland	
Olivin (dunitt)	0.3 ²	40			50	10	60	Svært stort	Stort	Ni, SiO ₂ , MCCS
Klinopyroksenitt ³		45		15	15	10	35	Stort	Stort	SiO ₂ , apatitt, MCCS
Anortositt		55	25	10			10	Svært stort	Begrenset	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , (MCCS)
Kalsiumkarbonat				50	< 1	< 1	-	Svært stort	Stort	CaCO ₃

¹ MCCS: Forkortelse for "Mineral Carbon Capture and Storage"; her benyttet som teoretisk potensial for mineralogisk CO₂-lagring (%) indikert ved % CaO + % MgO + % FeO.

² For enkelhets skyld er det her benyttet 0.3 % Ni som er en vanlig gehalt for norske olivinbergarter; for eksempel inneholder den største olivinressursen i landet (Åheim på Sunnmøre, i drift) ca. 0.3 % Ni, mens olivin i Rånaintrusjonen i Ballangen har et nikkellinnhold som varierer fra i størrelsesorden 0.3 % til godt under 0.1 % Ni.

³ Bergart som hovedsakelig består av pyroksenmineralet augitt (klinopyroksen) og som i Nordland opptrer i relativt store mengder i Misvær. Den kjemiske sammensetningen vil kunne variere en god del, og de tallene som er oppgitt i tabellen er veiledende. En annen aktuell bergart for CO₂-basert prosessering er magnesiumrik ortopyroksenitt, som opptrer sammen med olivinrike bergarter i Råna-intrusjonen i Ballangen så vel som en rekke andre steder i Nordland. Ortopyroksen er ansett for å være mindre reaktiv i karbonsyre enn klinopyroksen, og er derfor ikke særskilt framhevet i denne rapporten.

Tabell 2: Indikativ teoretisk potensial for verdiskaping basert på noen mineralske råvarer.

Forekomst type	Basert på 100 Mt råvare								
	Primærråstoff (indikative tall)			Prosessert råstoff (tallene er svært omtrentlige)					
	MRD kr	Kr/t	Marked	Prosess	MRD kr	Type	Kr/t	Marked	MCCS-potensial
Jernmalm (bergart med 35 % Fe-oksyd)	14	140	Stort	Gassbasert	50	Jern		Stort	Intet
Olivin/dunitt (bergart med 90 % olivin)	18	150	Middels	CO ₂ -basert	10	SiO ₂	1 000	Middels	Stort
					30	Ni (0,3 %)	100 000	Stort	
					10	MCCS	100	Stort	
Anortositt (bergart) med 90 % anortittrik plagioklas feltspat	14	100	Lite	CO ₂ -basert	100	Al ₂ O ₃	3 000	Stort	Lite
					10	SiO ₂	1 000	Middels	
					20	CaCO ₃	2 000	Stort	
Kalsiumkarbonat (bergart) med 90 % kalsiumkarbonat	9	100	Stort	CO ₂ -basert	100	CaCO ₃	1 000	Stort	Intet

Kommentarer til Tabell 2:

- Tallene er indikativ. Spesielt for den CO₂-baserte verdiskapingen vil det i praksis neppe la seg gjøre å realisere det verdipotensialet som antydes, men tallene gir likevel et perspektiv på hva som kan være mulig. Realiserbarheten vil avhenge av kvaliteten på de produkter som produseres, hva det koster å produsere tilstrekkelig rene produkter, samt i hvilken grad markedet etterspør disse produktene.
- Jernmalm i form av konsentrat av magnetitt (Fe₃O₄) kan benyttes som råvare i gassbasert produksjon av jern, for eksempel ved at karbonet i gassen danner CO₂ ved å binde seg med oksygen i jernmineralet, og jernet fra jernmineralet danner metallisk jern. Gjennomsnittsverdien av norskprodusert jernmalmkonsentrat i 2010 er 395 kr/t basert på produksjonstill oppgitt av Neeb m.fl. (2011) tilsvarende en verdi på 140 kr/t bergart med antatt 35 % jernmineral i gjennomsnitt. 100 Mt jernmalm har derfor en teoretisk samlet in situ verdi på i størrelsesorden 14 MRD kr. Videreforedlet til et jernprodukt antas den samlede verdiskapingen over lang tid å ha øket til i størrelsesorden 50 MRD kr. Pr. i dag er det sannsynligvis bare LKAB som kan levere råvare (jernmalmkonsentrat) av tilstrekkelig renhet for produksjon av jern basert på gass som reduksjonsmiddel. Tilgjengeligheten av egnet jernmalmkonsentrat forventes å øke i framtiden i form av ny produksjon i Nord-Sverige og Finland, med utskipping over Narvik.
- Olivin (i bergarten dunitt) har størst interesse for mineralogisk binding av CO₂ (MCCS) for å ta hånd om den CO₂ som produseres ved annen industriell virksomhet som for eksempel gassbasert jernproduksjon. Ved karbonsyreoppløsning av olivin frigjøres nikkell som må tas hånd om på en forsvarlig måte og som samtidig utgjør en betydelig potensiell verdi. I tillegg dannes SiO₂ (silika) som også representerer en potensiell verdi (avhenger av produktets kvalitet). Det verdianslaget for silika som er benyttet (10 MRD kr) er svært forsiktig i og med at det tas høyde for at en bare får solgt en mindre andel av den silika som produseres, resten må deponeres. Men potensialet for videre produktutvikling kan være betydelig, for eksempel rettet mot bruk av silika i betong.
- Anortositt antas å ha størst potensialet for verdiskaping ved sitt innhold av Al₂O₃ og i mindre grad ved SiO₂ og CaCO₃. MCCS potensial er beskjedent sammenlignet med olivin (Tabell 1).
- Kalsiumkarbonat har potensial for verdiskaping i kombinasjon med bruk av CO₂, men har intet MCCS potensial.

Mineralressurstypene er i dette dokumentet delt i tre hovedkategorier basert på evnen til å binde CO₂ (MCCS potensial).

Bergarter egnet for binding av CO₂

OLIVIN⁴ (Mg₂SiO₄) er spesielt interessant på grunn av sin evne til å binde CO₂. Mineralet kan oppløses i syre, noe som frigjør de mineralske basiskomponentene SiO₂ og MgO. Ved oppløsning av olivin i karbonsyre vil CO₂ bindes til MgO og danne karbonatmineralet magnesitt, mens silisiumet vil foreligge som silisiumoksid (silika). Olivin er tilgjengelig i Norge i store mengder, og fordi det kan oppløses i karbonsyre og har stor evne til å binde CO₂, blir olivin det mest interessante mineralet for mineralogisk binding av CO₂ i industriell skala.



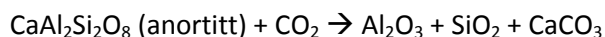
Bergart med over 90 % olivin kalles dunitt. Olivin omvandles i naturen i første rekke til mineralet serpentin (Mg,Fe)₃Si₂O₅(OH)₄, og i mange olivinrike bergarter opptrer olivin med delvis omvandling til serpentin. Se nærmere omtale av olivin på side 22.

PYROKSENITT. Klinopyroksen-rike bergarter kan også tenkes anvendt for binding av CO₂, men har mindre kapasitet for CO₂-binding enn olivin. I visse, sjeldne tilfeller har slike bergarter et distinkt innhold av fosformineralet apatitt. I slike tilfeller kan en tenke seg en kombinert drift hvor en i tillegg til å utvinne apatitt benytter det øvrige bergartsinnholdet for CO₂-binding. Se nærmere omtale på side 22. Andre pyroksenitt bergartstyper kan også tenkes anvendbare i forhold til CO₂-basert mineralprosessering, spesielt ulike varianter av ortopyroksen-olivin (+/-klinopyroksen) bergarter som forekommer en rekke steder i Nordland.

Bergarter med potensial som aluminiumråstoff men med liten evne til CO₂-binding

ANORTITT (CaAl₂Si₂O₈) er en syreløselig variant av feltspatmineralet plagioklas, og er interessant hovedsakelig på grunn av sitt innhold av aluminium (Al₂O₃); det har også evne til å binde CO₂ men i langt mindre grad enn olivin. Anortositt er betegnelsen på en bergart som består av mineralet plagioklas, og i de tilfeller at plagioklasen har en anortittrik sammensetning er bergarten syreløselig. Anortittrik (egentlig en sammensetning som varierer mellom labradoritt og bytownitt, d.v.s. 50-90% anorthitt) anortositt i Indre Sogn har i årenes løp flere ganger vært vurdert som råvare for Al₂O₃-produksjon via oppløsning i syre. Dette alternativet har imidlertid ikke vært økonomisk konkurransedyktig i forhold til import av aluminiumråvare basert på bauxittforekomster (som er dannet ved nedbrytning/forvitring av aluminiumholdige bergarter gjennom millioner av år).

Ved karbonsyrebasert dekomponering av anortositt skjer følgende forenklete kjemiske reaksjon:



Alle de tre hovedkomponentene som dannes, henholdsvis Al₂O₃ (aluminiumoksid), SiO₂ (silisiumoksid, også kalt silika) og CaCO₃ (kalsiumkarbonat) har potensiell verdi forutsatt at det kan

⁵ Mg₂SiO₄ er olivinmineralet forsteritt. I praksis inneholder olivin en del jern (5-15 % Fe) og nikkel (0.2-0.4 % Ni) bundet i mineralets krystallstruktur. Den kjemiske formelen (Mg,Fe)₂SiO₄ blir benyttet i sammenhenger hvor olivin inneholder en god del jern.

produseres konsentrater egnet for annen industriell anvendelse og at disse er konkurransedyktige med produkter fra andre kilder. Dannelse av CaCO_3 representerer en mulighet for mineralogisk lagring av CO_2 tilsvarende som for MgCO_3 dannet fra olivin, men i relativt sett mindre mengder. Se nærmere omtale av anortositt på side 23. Anortositt inneholder også mindre mengder natrium (2-4 % Na_2O) og jern (under 1 % FeO) som må håndteres i prosessen.

NEFELIN ($\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$) er et aluminiumholdig mineral som ansees som løselig i syre tilsvarende som anortitt, og kan komme i betraktning som Al_2O_3 -råstoff. Se nærmere omtale på side 23.

Kalsiumkarbonat - Stort verdipotensial uten mulighet for binding av CO_2

Kalsiumkarbonat er en bergartstype egnet for oppløsning i syre. Typisk kalsiumkarbonat bergart (kalkstein og kalkspatmarmor) inneholder vanligvis i størrelsesorden 90 % kalkspat som er det potensielt verdifulle mineralet, og det resterende består av i denne sammenheng uønskede mineraler som grafitt, kvarts, dolomitt, glimmer m.fl. Kalkspat er lett løselig i karbonsyre i forhold til de øvrige mineralene, og også mer lettløselig enn kalsium-magnesium karbonatmineralet dolomitt. Dette kan åpne opp for selektiv oppløsning av kalsiumkarbonat uten at de øvrige mineralene løses opp, med påfølgende utfelling av et høyverdig PCC-produkt (Precipitated Calcium Carbonate). Dette forutsetter at kalsium-karbonatet i bergarten er av mineralkjemisk høyren kvalitet.

Reaksjonen er (forenklet): CaCO_3 (kalkspat) + $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ (renset kalkspat/PCC) + CO_2

Slik selektiv oppløsning av kalsiumkarbonat og kontrollert utfelling som et renset produkt (PCC) har ingen CO_2 -nettoeffekt i og med at all CO_2 som benyttes i prosessen frigjøres. Se nærmere omtale av kalsiumkarbonat på side 24.

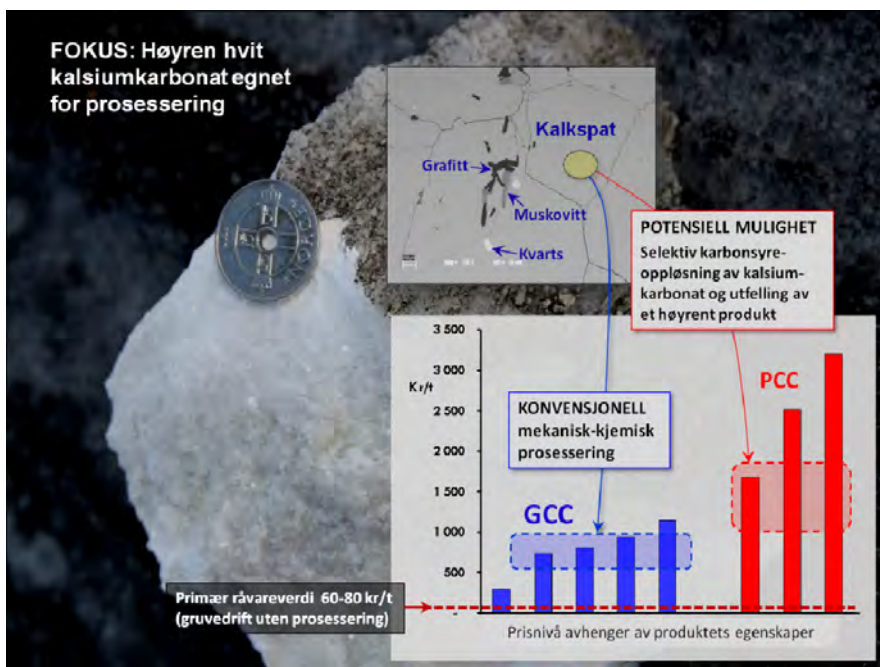


Fig. 3: Kalsiumkarbonat verdiskapingsmuligheter.

Muligheter for ny verdiskaping basert på kalsiumkarbonat er antydnet i Fig. 3. Den store utfordringen er å anrike et i utgangspunktet høyverdig kalsiumkarbonat slik det opptrer i bergarten, til et rent konsentrat hvor de andre mineralene er effektivt fjernet. Dette kan gjøres med kjente mekanisk-kjemiske metoder (gjøres i Norge av Hustadmarmor i Elnesvågen), eller en kan tenke seg en helt ny metodikk i form av selektiv karbonsyreoppløsning og utfelling som beskrevet nedenfor. En slik ny metode kan gi grunnlag for ny industriell virksomhet.

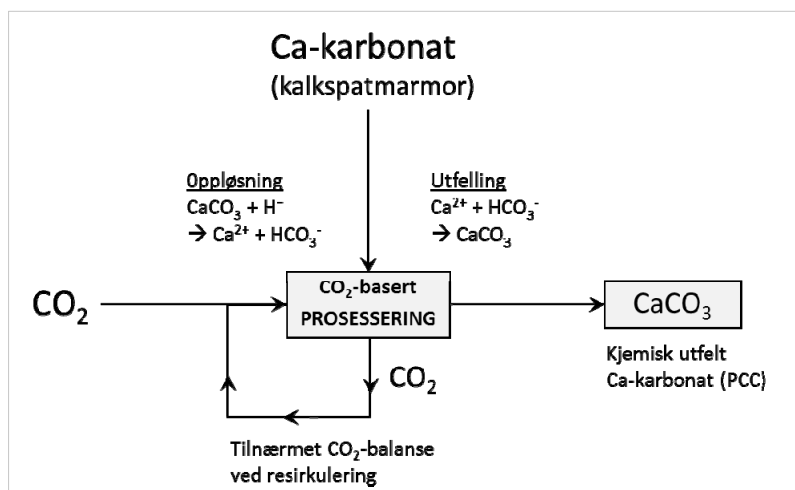
Ren råvareproduksjon uten videre bearbeiding/prosessering opererer med priser i størrelsesorden 70-90 kr/t, mens konvensjonell mekanisk-kjemisk prosessering for produksjon av GCC (Ground Calcium Carbonate) opererer med priser i størrelsesorden 1000 kr/t, dog med betydelige variasjoner avhengig av kvaliteten. Kjemisk utfelt kalsiumkarbonat (PCC – Precipitated Calcium Carbonate) har enda høyere priser slik som antydnet i Fig. 3. For både GCC og PCC har det globale markedet øket betydelig i de senere år, og mest for PCC.

Det innskutte SEM-bildet i Fig. 3 illustrerer hvordan en mineralkjemisk ren Ca-karbonat (kalkspatmarmor) kan ha en mengde inneslutninger av andre mineraler. Kalkspaten i denne bergarten har potensiell høy kvalitet fordi den har lavt innhold av jern og mangan (i størrelsesorden 250 ppm Fe+Mn_{syreløselig}) og kan være egnet som råvare for produksjon av et høyverdig Ca-karbonat produkt. Dette kan imidlertid vanskelig la seg gjøre med konvensjonell mekanisk-kjemisk mineralprosessering på grunn av den store mengden av finkornete inneslutninger av andre mineraler, men kan kanskje la seg gjøre ved selektiv karbonsyreoppløsning.

Prinsippet er illustrert i Fig. 4. Ca-karbonat som er relativt lettløselig i syre oppløses uten at de andre mineralene i bergarten (som er langt mindre løselig) løses, og felles ut i neste prosesstrinn som et høyverdig Ca-karbonat (PCC). Kjeøy-prosjektets tekniske rapport (Walder m.fl. 2011) som er rettet mot karbonsyreoppløsning av olivin, vil gi en pekepinn på hvordan man kan oppløse karbonat.

Fortrinnet og mulighetene ved en slik prosess kan følgelig oppsummeres som følger:

- CO₂ benyttes som reagens (men uten noen nettoeffekt), og en vil dermed kunne knytte slik produksjon opp mot annen industri med utslipp av CO₂.
- Prosessen kan benyttes på «urene» karbonatbergarter med potensielt høyverdig kalsiumkarbonat, men hvor ugunstige mineralogiske omstendigheter (ført og fremst mineralsammenvoksinger) gjør at høyverdige produkter ikke lar seg produsere med konvensjonell metodikk. En slik prosess vil gjøre langt flere forekomster aktuelle for drift.
- Det kan også hende at en karbonsyrebaseret prosess som i prinsippet vil være ganske enkel, kan åpner opp for mindre kostnadskrevende framstilling av høyverdige karbonatprodukter



(PCC). Konseptet vil i så fall kunne gi grunnlag for en konkurransedyktig industriell utvikling.

Fig. 4: Flytskjema for selektiv karbonsyreoppløsning og utfelling.

KJØY-KONSEPTET FOR CO₂-BASERT VERDISKAPING

Formålet er å utvikle en industrirelevant metodikk for rask karbonsyreoppløsning av olivin og andre egnede mineraler/bergarter. Nytteverdien vil være ny industriell utvikling hvor CO₂ benyttes som råstoff i den industrielle prosessen. For olivin har prosessen den forenklete kjemiske reaksjonen Mg_2SiO_4 (olivin) + CO₂ → SiO₂ (silika) + MgCO₃ (magnesitt) hvor CO₂ bindes i karbonatmineralet magnesitt. Olivin inneholder vanligvis i størrelsesorden 0.2-0.3 % Ni som også frigjøres i denne prosessen, og det kan bli mulig å lage et verdifullt nikkel-produkt for salg.

Utfellingsmekanismene er komplekse, men generelt kan en si at komponenter som går i løsning (Ni, Fe og eventuelle spormetaller som Co) kan felles ut med kjent teknologi til et salgbart produkt. Mineralske komponenter som ikke går i løsning ender opp som et svært finkornet (/mikrokrystallisk) mineralogisk materiale med silika og magnesitt som de viktige mineralogiske komponentene. Den potensialet mest verdifulle komponenten i dette materialet er sannsynligvis silika, og den viktigste anvendelsen vil trolig være bruk i betong tilsvarende mikrosilika fra Fe-Si smelteverk. Men for at produktet skal bli markedsmessig attraktivt må det anrikes og renses i ytterligere prosesstrinn. Tilsvarende må magnesitt anrikes og renses for å gi et salgbart produkt. Det er utenfor rammen av dette prosjektet å komme inn på hvordan denne videre prosesseringen kan gjøres. Det materialet som ikke ender opp som salgbare produkter må deponeres.

Hovedidéen i konseptet er bruk av svært kraftige energipulser som pulveriserer bergarten og besørger effektiv omrøring i reaksjonsmassen under oppløsningsprosessen. Dette er forenklet illustrert i Fig. 5. Se detaljert beskrivelse av Walder m.fl. (2011).

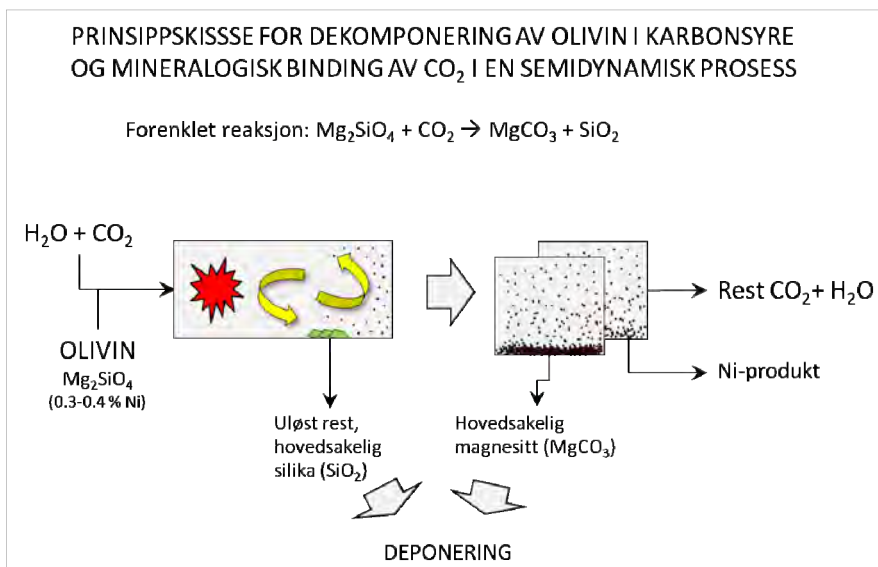


Fig. 5: Illustrasjon av prinsippet for integrert pulverisering og oppløsning av olivin.

Kjøy prosessen har en sentral plassering i Gass-Mineral-CO₂ flytskjemaet i Fig. 6 som boksen "CO₂-mineral prosessering" i flytskjemaets Del B. Gass kan ved brenning benyttes til produksjon av elektrisitet, men kan også brukes på forskjellige andre måter som for eksempel produksjon av brent kalk (CaO). I dette flytskjemaet tenker en seg brent kalk benyttet for absorpsjon av CO₂ som blir til overs ved den CO₂-baserte mineralprosesseringen i flytskjemaets del B (se nedenfor), og eventuelt i tillegg for ekstraksjon av atmosfærisk CO₂. En annen aktuell anvendelse av gass er som reduksjonsmiddel for produksjon av jern fra jernmalm, se nærmere omtale på side 20.

Disse anvendelser av gass er velkjente, og har det til felles at det samtidig dannes CO₂. I flytskjemaets del B er den CO₂ som dannes ved bruk av gass tenkt benyttet for oppløsning/dekomponering av visse typer mineraler og bergarter i karbonsyre som dannes ved at CO₂ oppløses i vann. I denne prosessen bindes CO₂ med komponenter fra mineralene og danner karbonat.

At i alt har den CO₂-baserte prosesseringen basert på CO₂ fra jernproduksjonen og de tre typer mineralske råstoff som er beskrevet ovenfor, et langt større potensial⁶ for verdiskaping enn selve gruvedriften. Et slikt industriscenarior må være integrert i alle ledd og er ytterst utfordrende, ikke minst i forhold til deponering av store mengder CO₂-holdig mineralogisk materiale⁷.

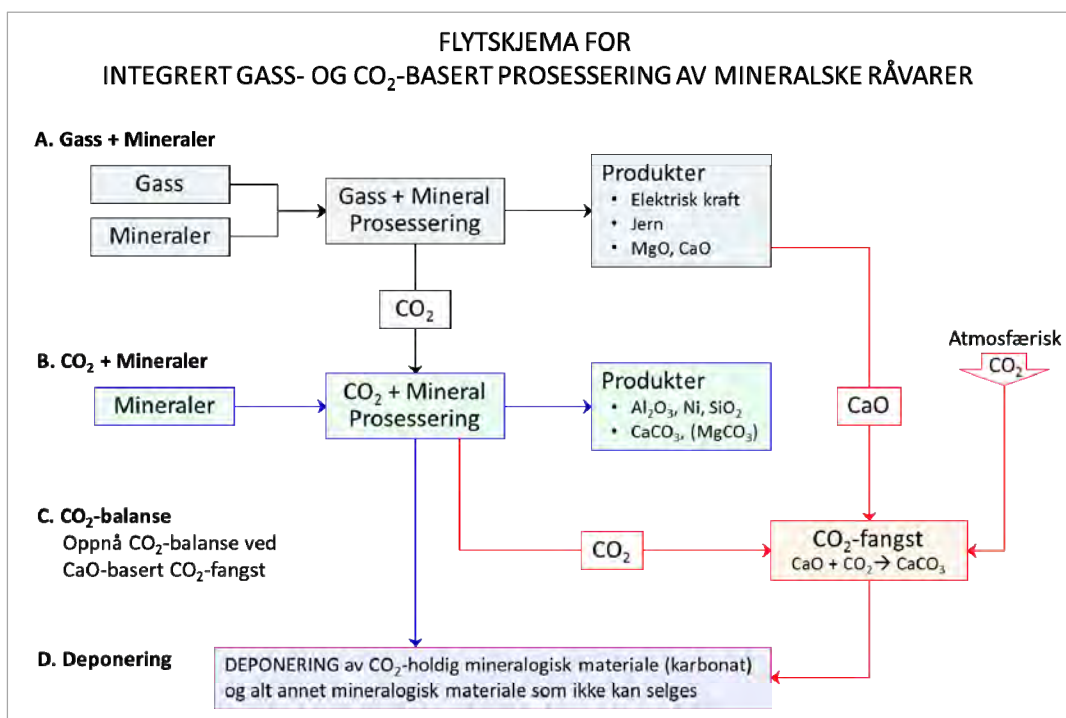


Fig. 6: Kombinert gass-mineral og CO₂-mineral flytskjema.

⁶ Dette gjelder for alle typer videreføring av mineralske råvarer; generelt kan en si at jo mer videreføring jo større verdiskaping.

⁷ Ved karbonsyrebasert oppløsning av olivin bindes CO₂ i karbonatmineralet magnesitt (MgCO₃), som kan ha industriell anvendelse for eksempel for produksjon av magnesium metall forutsatt at produktet har tilstrekkelig renhet. Hvorvidt "Kjeøy-prosessen" kan åpne opp for produksjon av magnesitt av industriell kvalitet er i øyeblikket ikke kjent.

VISJON 100

Et bakenforliggende scenario er at petroleumproduksjonen i et 20-30 års perspektiv sannsynligvis kommer til å reduseres betydelig, og det vil bli et sterkere behov for å styrke andre aktiviteter i samfunnet som kan genererer arbeidsplasser og økonomiske ringvirkninger.

Det ligger store muligheter for industriell verdiskaping hvis en kan få til integrasjon mellom gruvebasert primærproduksjon av mineralske råvarer og prosessbasert videreforedling, slik som skissert i Fig. 7. Landet har i dag en betydelig prosessindustri (smelteverk) som i stor grad er basert på importerte mineralske råvarer. Denne industrien er bygget opp over lang tid i kombinasjon med god tilgang på elektrisk kraft; billig vannkraft har historisk sett i denne sammenheng vært det nasjonale konkurransefortrinnet som gjorde dette mulig.

En tilsvarende mulighet og konkurransefortrinn foreligger i dag i form av gass, men som selger til utlandet uten annen næringsmessig verdiskaping enn aktiviteten relatert til gassproduksjonen. Et annet konkurransefortrinn er sjønær tilgjengelighet av en rekke typer av mineralressurser som i prinsippet kan gi grunnlag for mineralbasert prosessindustri. Begge disse konkurransefortrinnene er reelle og gir landet en unik mulighet for framtidig industribygging.

Hvordan håndtere CO₂ blir et sentralt punkt for eventuell framtidig gassbasert industriutvikling, og det er nødvendig å utvikle gode teknisk/økonomiske og miljøakseptable løsninger.

VISJON 100 er følgelig en tenkt framtidig industriell utvikling hvor deler av gassproduksjonen benyttes i mineral- og prosessbasert industriproduksjon slik som skissert i Fig. 7, med betydelig verdiskaping og synergieffekter for samfunnet.

Men en slik utvikling kommer ikke av seg selv, men bør kunne la seg realiseres hvis det tas tilstrekkelige industri- og miljøpolitiske håndgrep.

I dagens situasjon foreligger et "Window of Opportunity" i form av tilgjengelighet av gass og egnede mineralressurser, samtidig som "Kjeøy-prosessen" kan bli det teknologiske gjennombruddet som trengs for å realisere industriell CO₂-håndtering.

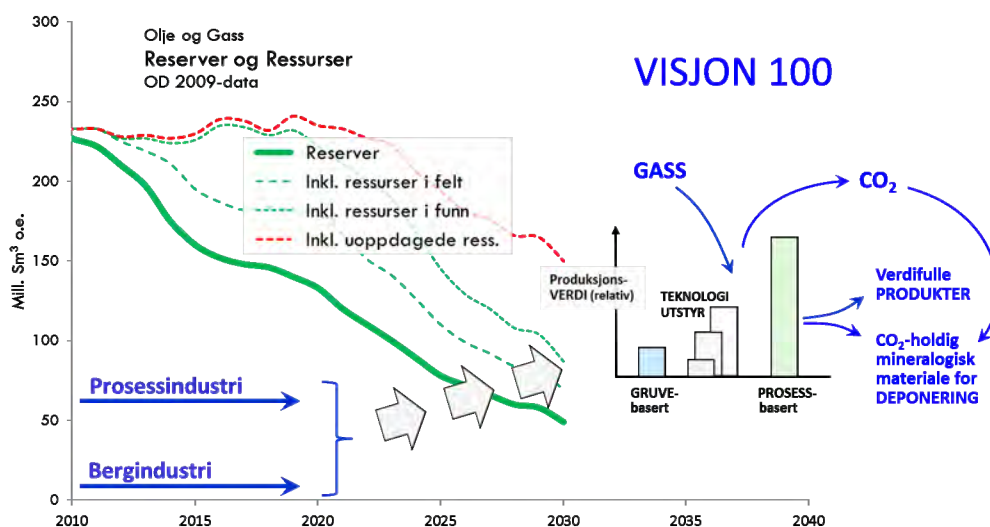


Fig. 7: Visjon 100 scenarioet.

4. EGNEDE NASJONALE MINERALRESSURSER

GENERELLE BETRAKTNINGER

Det er viktig å være klar over at første fase i etablering av ny industriell aktivitet basert på gass/CO₂-prosessering av mineralske råvarer kan gjennomføres uten at det etableres ny gruvedrift.

Relevante råvarer kan transporteres med båt fra etablerte gruvebedrifter forskjellige steder i landet (Fig. 8). Jernmalm for gassbasert prosessering⁸ er tilgjengelig fra LKAB i Narvik, fra Rana Gruber og fra Syd-Varanger. Olivin er tilgjengelig fra Åheim i Møre og Romsdal og egnet anortositt fra Gudvangen i Sogn og Fjordane. Kalsiumkarbonat er tilgjengelig fra en rekke forekomster langs norskekysten.

En prosesseringsbedrift eventuelt klynge av bedrifter som utnytter synergieffekter i forhold til hverandre kan dermed i prinsippet ligge hvor som helst langs kysten, basert på skipslaster med nedkjølt flytende gass (LNG) og mineralske råvarer.

Håndteringen av CO₂-holdig mineralogisk materiale som må deponeres i store mengder er en stor utfordring, og en må finne egnede steder for industriutbygging som også har gode deponimuligheter.

Som et fiktivt scenario kan en for eksempel tenke seg etablering av et industrielt kompleks i Evenesområdet, slik som skissert i Fig. 8. Gass i form av LNG og mineralske råvarer ankommer sjøveien, og de betydelige mengdene med CO₂-holdig mineralogisk materiale som produseres må deponeres i land- eller sjødeponi i nærområdet. Evenesområdet inneholder karbonatforekomster (Korneliussen

m.fl. 2011) som kan gi grunnlag for produksjon av brent kalk ved bruk av gass og CO₂-basert produksjon av PCC, men det er ikke kjent om området har egnede steder for deponering av CO₂-holdig mineralogisk materiale.



Fig. 8: Ressurstilgjengelighet for industriscenario Evenes-Tjeldsund.

⁸ Gruveselskapet LKAB, metall-selskapet Höganäs og Statoil utreder mulighetene for å etablere jernverk på Tjeldbergodden basert på jernmalm pellets fra LKAB/Narvik og naturgass fra Heidrunfeltet. Målet er å produsere 1.6 Mt direkte redusert jern i året. Prosjektet har fått navnet Ironman.

RESSURSTYPER EGNET FOR GASSBASERT INDUSTRIPRODUKSJON

En rapport som omhandler muligheter for industriell verdiskaping basert på geologiske ressurser i Nordområdene er utarbeidet av Sintef, NTNU, Norut og NGU og er tilgjengelig for nedlasting fra http://www.sintef.no/upload/Materialer_kjemi/aktuelt/GeoNor%20sluttrapport-web.pdf.

Jernmalm forekomster

Jernmalm er relativt vanlig i Nord-Norge (Fig. 9) og har i dag industriell betydning i Rana og i Syd-Varanger. Ressursgrunnet er betydelig begge steder. Store mengder jernmalm (hovedsakelig i form av jernmalm pellets) fra LKAB's gruver i Nord-Sverige skipes ut via Narvik.

I prinsippet kan jernmalm foredles til jern ved en såkalt direktereduksjonsprosess som enten benytter gassen (CH_4) direkte eller benytter hydrogen (H_2) som i så fall må separeres fra gassen på forhånd som skissert i Fig. 10. Ved å bruke gassen direkte bindes karbonet i gassen til oksygenet i jernmineralet og danner CO_2 , og jernet frigjøres som rent jern. I det andre alternativet bindes hydrogen til oksygen i jernmineralet og danner vann og jernet frigjøres til rent jern. En stor utfordring er å få til en teknisk/økonomisk og miljømessig akseptabel CO_2 -håndtering. Som antydnet i Fig. 10 foreligger flere teoretiske alternativer for å benytte CO_2 i videre mineralbasert verdiskaping, hvorav karbonatisering av olivin vil være det mest effektive for mineralogisk binding av CO_2 i større mengder.

CO_2 -håndteringen er som mineralogisk binding av CO_2 i form av karbonatmineraler som må deponeres i kombinasjon med produksjon av mineralogiske produkter for salg. Tre råvaretyper er tenkt benyttet basert på henholdsvis dunitt/olivin, anortositt og Ca-karbonat. Dunitt/olivin har stor kapasitet for CO_2 -binding (Tabell 1, side 11), anortositt har en moderat kapasitet for CO_2 -binding men stort potensial for salgbare mineralprodukter, mens Ca-karbonat har ingen kapasitet for CO_2 -binding men stort potensial for annen verdiskaping.

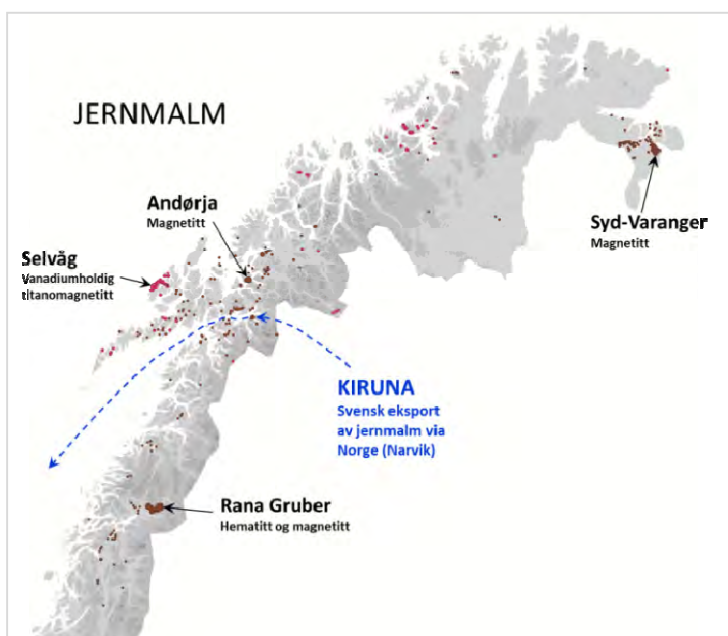


Fig. 9: Jernforekomster i Nord-Norge.

Prinsippskisse
JERNVERK MED MINERALOGISK CO₂-HÅNDBTERING

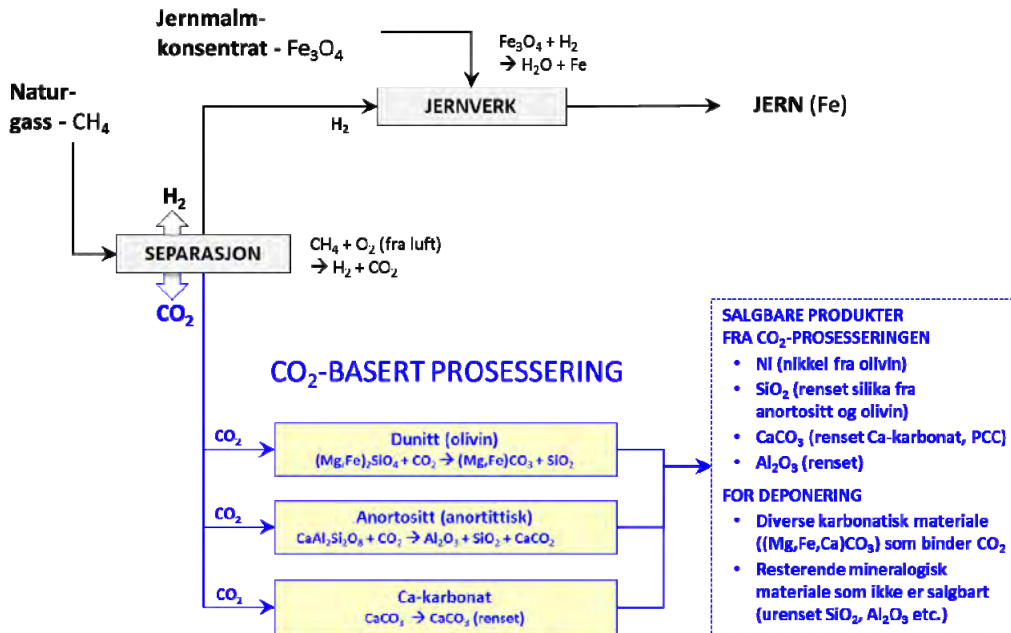


Fig. 10: Forenklet Gass-Jernmalm flytskjema med mineralogisk CO₂-håndtering i form av videre anvendelse av CO₂.

Jern-titan forekomster

Jern-titan forekomster med mineralet ilmenitt (FeTiO₃) og titanholdig magnetitt (Fe₃O₄) er trolig prosestetknisk langt mer komplekse enn de rene jernmalmen. Utnyttelse av denne type forekomster i kombinasjon med gass ligger sannsynligvis en god del lengre fram i tid enn for jernmalm. Ilmenitt produseres i dag fra Tellnes-forekomsten i Rogaland, og det vil være naturlig at videre FoU rettet mot gassbasert videreforedling av Fe-Ti malm tar utgangspunkt i denne

forekomsten.

Andre forekomster av lignende typer er Bjerkreim-Sokndal intrusjonen i Rogaland (ilmenitt, vanadiumholdig magnetitt og apatitt), Rødsand i Møre og Romsdal (vanadiumholdig magnetitt og ilmenitt) og Selvåg i Vesterålen (vanadiumholdig magnetitt og ilmenitt).

Rutil/eklogitt-forekomster er neppe egnet for gassbasert videreforedling, men selve eklogittbergarten kan kanskje være egnet for CO₂-basert prosessering tilsvarende hva som kan gjøres for olivin og pyroksenitt.

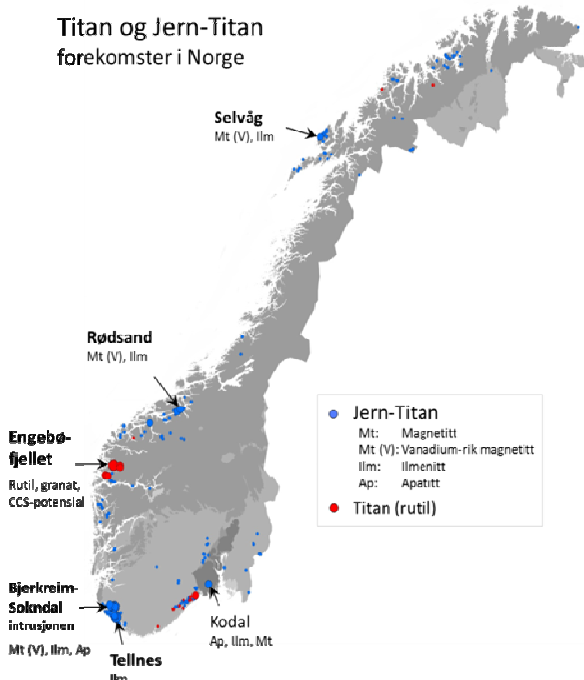


Fig. 11: Forekomster av titan (rutil) og jern-titan.

RESSURSTYPER EGNET FOR CO₂-BASERT INDUSTRIPRODUKSJON

Olivinrike bergarter inkl. peridotitt og serpentinit

Olivinrike bergarter i forskjellige varianter har høyt innhold av silikatbundet MgO som kan bindes med CO₂ og danne karbonatmineralet magnesitt. Bergarten dunitt som inneholder over 90 % olivin ansees som mest velegnet i denne sammenheng. Slike bergarter opptrer i store mengder i visse deler av landet (Fig. 12) og spesielt på Sunnmøre opptrer olivinforekomster av høy kvalitet som industrimineral. Dagens gruvedrift på olivin ved Åheim (Sibelco Nordic) er verdens største i sitt slag med ca. 2.5 Mt i årsproduksjon. Ressursgrunnlaget er meget stort.

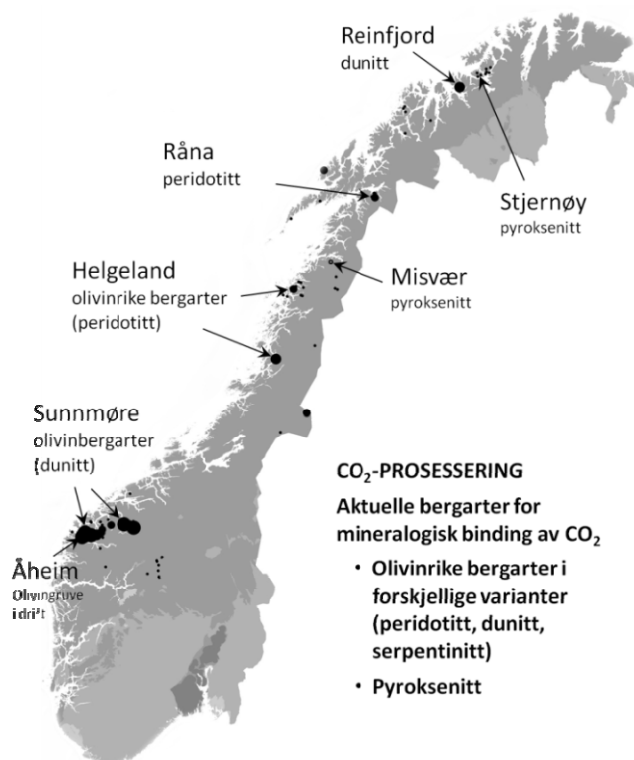


Fig. 12: Utvalgte forekomster av olivin-rike bergarter og pyroksenitt.

Klinopyroksenitt, hovedsakelig augittrike bergarter

Klinopyroksen er forventet å være nesten like reaktivt i karbonsyre som olivin men har mindre evne til å binde CO₂.

Store mengder av apatitt-førende klinopyroksenitt forekommer på Stjernøy i Finnmark og i Misvær i Nordland. Deler av disse forekomstene inneholder i størrelsesorden 10 % apatitt. En kan i denne sammenheng tenke seg en kombinert utnyttelse hvor en først lager et apatittkonsentrat og deretter lar restmaterialet gjennomgå CO₂-prosessering for binding av CO₂ i karbonat. I prinsippet er det mulighet for at det kan lages salgbare produkter av SiO₂ og karbonat (CaCO₃).

Slike bergarter kan være et alternativ til bruk av olivin for mineralogisk CO₂-binding, med mulighet for diverse salgbare produkter slik som skissert ovenfor.

Anortositt og nefelinsyenitt

Anortositt (Fig. 13) er i denne sammenheng viktig fordi den har høyt innhold av aluminium (ca. 30 % Al_2O_3) og visse varianter (med anortittrik plagioklas) kan løses i syre, noe som kan åpne opp for produksjon av Al_2O_3 , SiO_2 og CaCO_3 . Nefelin ($\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$) ansees også å være relativt lettløselig i syre og inneholder aluminium (ca. 20 % Al_2O_3) og nefelinrike bergarter kan kanskje være egnet for CO_2 -prosessering.

Begge råvaretypene er tilgjengelig fra gruver i produksjon, anortositt fra Indre Sogn og Rogaland, nefelinsyenitt fra Stjernøy i Finnmark.

De største anortosittområdene i Norge er i Sogn-Hordaland og i Rogaland, men betydelige forekomster finnes også i Lofoten og Vesterålen i Nordland, på Ringvassøy i Troms og på Øksfjordhalvøya (Koven) i Finnmark.

Syreløselig anortositt (anortittrik) er kun med sikkerhet kjent fra Indre Sogn. Syreløseligheten øker med anortittinnholdet i plagioklas (ikke nærmere beskrevet i denne rapporten). Anortositt i Nord-Norge er ikke tilstrekkelig undersøkt mht syreløselighet.

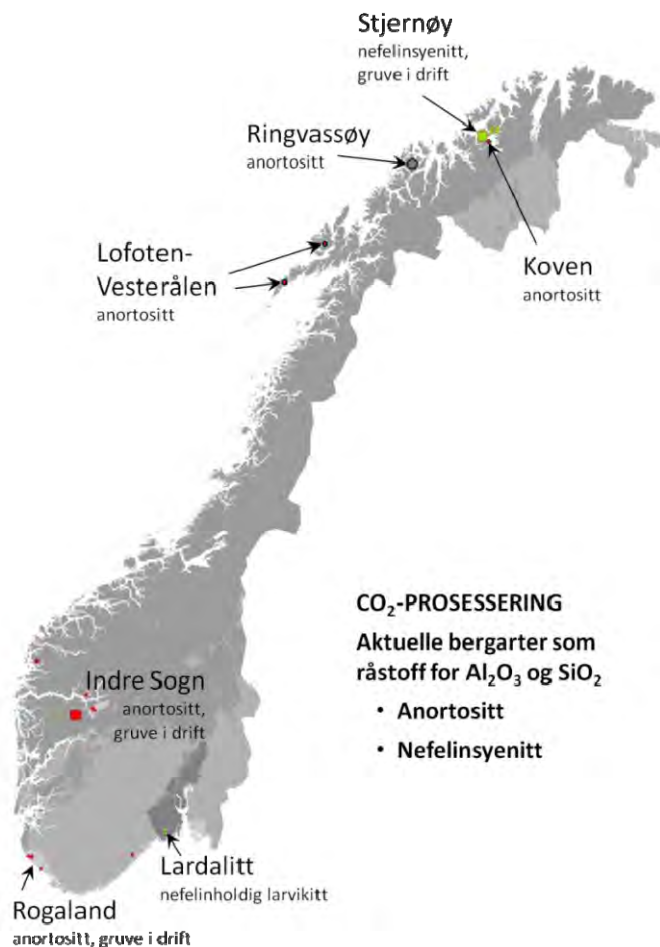


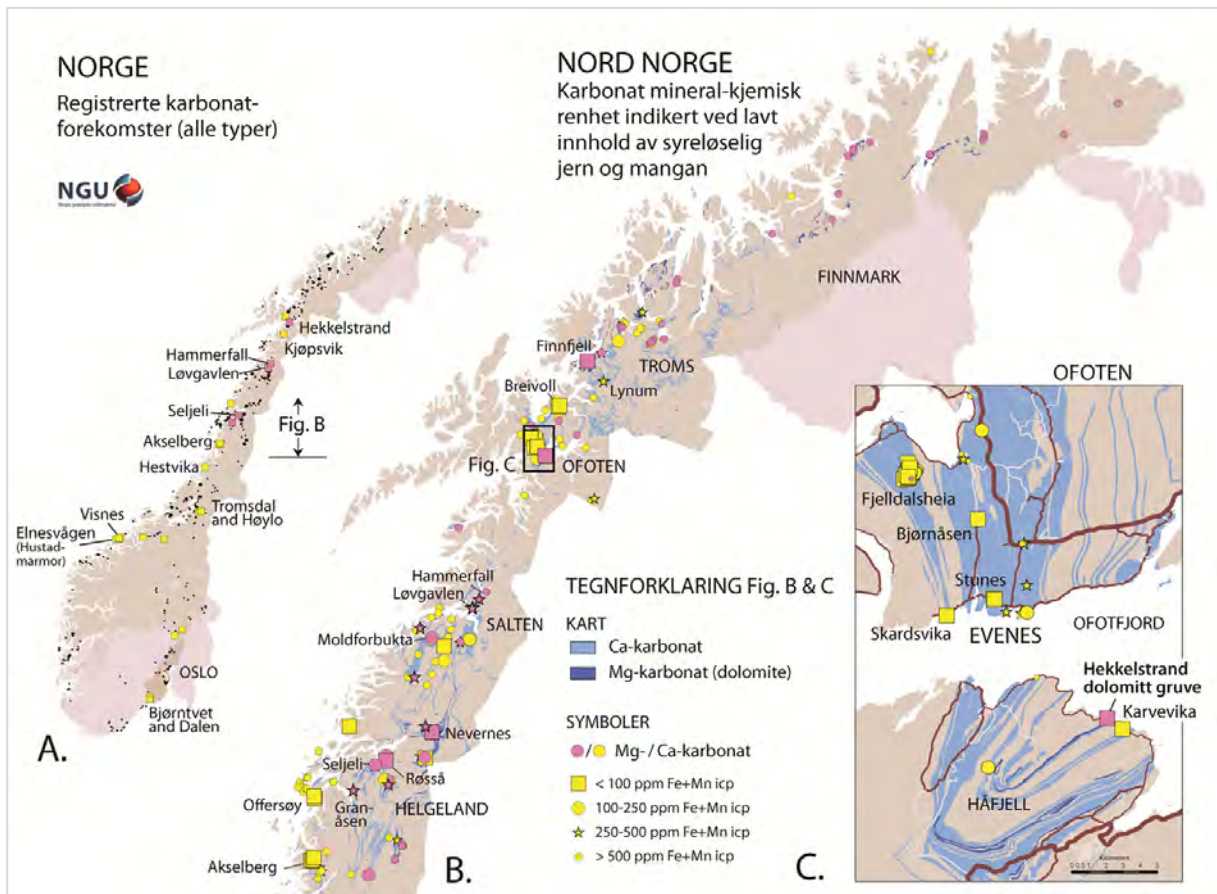
Fig. 13: Forekomster av anortositt og nefelinsyenitt (inkl. lardalitt) i Norge.

Kalsiumkarbonat

Karbonater er den viktigste mineralske ressurstypen i fastlands Norge, og 15 gruver i drift produserer karbonat av ulike kvaliteter for en rekke anvendelser. Av størst industriell betydning er Ca-karbonat for sementproduksjon i Kjøpsvik og Brevik, og kombinasjonen Brønnøy Kalk (Akselberg forekomsten) og prosesseringsbedriften Hustadmarmor i Elnesvågen i Møre og Romsdal. Hustadmarmor produserer høyverdige Ca-karbonat produkter hovedsakelig basert på råvare fra Brønnøy Kalk.

Karbonatressursene er svært store, med Nordland som det viktigste fylket. En rapport om karbonatforekomster i Evenesområdet er nylig utarbeidet (Korneliussen m. fl. 2011).

Kjøøy-prosessen åpner opp for selektiv karbonsyreoppløsning av Ca-karbonat og utfelling som et høyrent produkt (PCC).



5. PRIORITERTE MINERALRESSURSER I NORDLAND

SAMMENDRAG

Mineralske råvarer for gass/CO₂-basert videreforedling som er industrielt tilgjengelig i dagens situasjon:

- JERNMALM er tilgjengelig i Narvik (fra LKAB Kiruna) og i Mo i Rana (Rana Gruber), og er en aktuell råvaretype for jernproduksjon i kombinasjon med gass.
- KALSIMUMKARBONAT i forskjellige varianter er tilgjengelig i markedet, og kan være aktuell for CO₂-basert videreforedling for produksjon av høyrene produkter av kalsiumkarbonat (PCC).
- MAGNESIUMKARBONAT (dolomitt, tre gruver er i drift i fylket) kan være aktuell for gassbasert produksjon av brent dolomitt; spesielt Seljeli forekomsten i Vefsn er egnet for slik produksjon som for øvrig i dag skjer i liten målestokk ved bedriften SMA i Mo i Rana, men er der ikke gassbasert.

Gass-relevante forekomster som ikke er i drift men som anbefales prioritert mht framtidig videreforedling i kombinasjon med gass:

- Flere DOLOMITT forekomster kan være aktuell for gassbasert produksjon av "brent dolomitt"; gassen benyttes som energikilde for frigjøring av CO₂ fra dolomitt ved prosessen $(Ca,Mg)CO_3 + \text{varme} \rightarrow CO_2 + (Ca,Mg)O$. Denne prosessen frigjør i CO₂ som kan benyttes som reagens i annen industriproduksjon.
- Tilsvarende kan en tenke seg forekomster av kalsiumkarbonat for gassbasert produksjon av brent kalk.

CO₂-prosess-relevante mineralforekomster i fylket som anbefales for videre utvikling rettet mot CO₂-prosessering i framtiden:

- Forekomster av HØYREN KALSIMUMKARBONAT opptrer en rekke steder; av særskilt interesse er forekomster i Evenes-Ballangen området (Korneliussen m.fl. 2011).
- OLIVINRIKE BERGARTER i Rånafeltet i Ballangen representerer en betydelig mineralressurs med relevans for CO₂-basert mineralprosessering. Det er i denne sammenheng aktuelt både å vurdere forekomstvarianter hvor nikkelet i hovedsak er bundet i olivin og forekomster med en stor andel av nikkelet bundet i sulfidmineraler (Bruvann). De mest massive dunittiske varianter dokumentert så langt er sulfidførende, men har også et varierende innhold av Ni i olivin, og også interessante gehalter av Cu og Co.
- Apatittholdig PYROKSENITT ved Misvær kan tenkes å være egnet for CO₂-basert mineralprosessering og kan i denne sammenheng representere en viktig ressurs.

Selvåg jern-titan forekomst kan kanskje få interesse hvis det blir ilandføring av gass i nærområdet, med mulighet for videreforedling av vanadiumholdig titanomagnetitt (titanholdig magnetitt med ca. 0.4 % V) til jern og ferrovanadium (vanadium-jern produkt).

Anortositt og forskjellige varianter av mangeritt (vanlig bergart i Lofoten) kan tenkes å få interesse i framtiden for CO₂-basert mineralprosessering, avhengig av hvordan denne teknologien utvikler seg videre og av framtidig tilgjengelighet av gass/CO₂. Men ut fra hva som er kjent i dag vurderes det som

lite sannsynlig at anortositt fra Nordland vil kunne konkurrere med anortositt fra Sogn. Av den grunn bør slike bergarter ikke prioriteres i første omgang.

JERNMALM

For Nordland er tilgjengeligheten av jernmalm for gassbasert jernproduksjon via LKAB/Narvik svært god, og den er økende. I tillegg kan det tenkes at Rana Gruber vil kunne levere produkter av egnet kvalitet hvis det ble behov for det. Gass vil være tilgjengelig i form av LNG langs hele kysten. Det mest aktuelle stedet for gassbasert jernframstilling i Nordland er Narvik basert på LKAB-malm, eventuelt Mo i Rana basert på jernmalm fra Rana Gruber. For Finnmark kan Hammerfest bli aktuelt pga gasstilgjengeligheten ved Melkøya; jernmalm må i så fall fraktes fra Kirkenes eller fra LKAB/Narvik eventuelt fra Rana Gruber.

Gassbasert jernproduksjon forutsetter miljøakseptabel CO₂-håndtering. CO₂-basert prosessering slik som skissert i denne rapporten kan bli en løsningen for CO₂-håndteringen. Utfordringen er i så fall ikke bare prosessteknisk men i like stor grad å identifisere egnede steder for deponering av de store mengder med CO₂-holdig mineralogisk materiale som vil bli produsert.

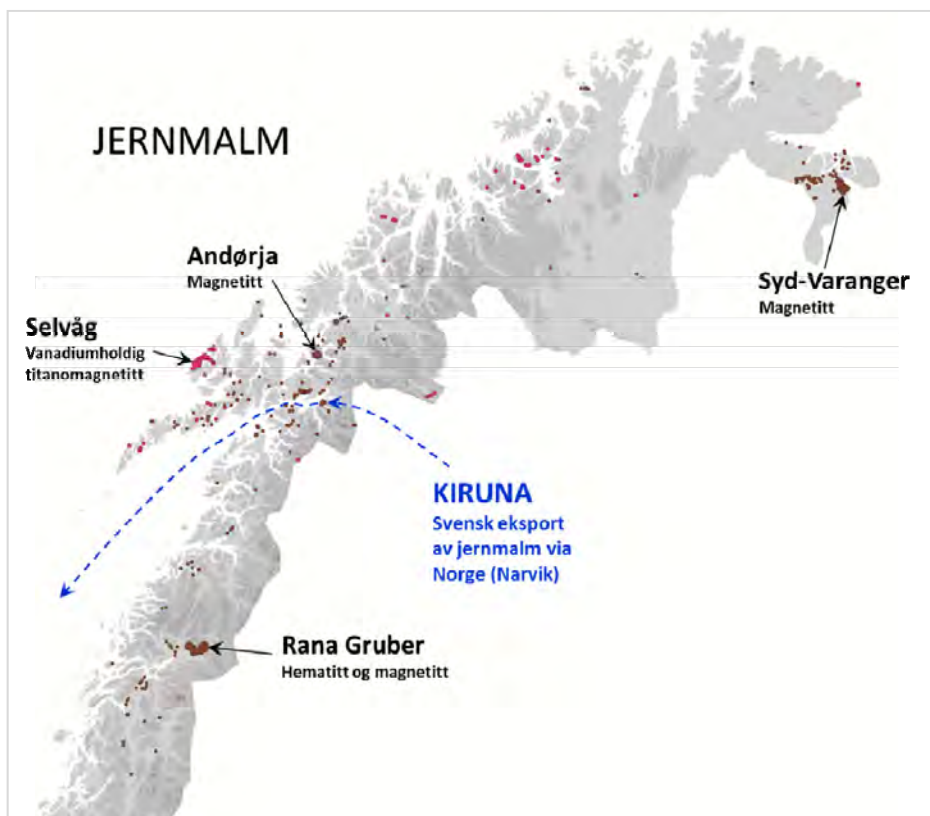


Fig. 15:
Jernforekomster i
Nord-Norge.

KALSIUMKARBONAT

Ressursene av kalsiumkarbonat (kalkspatmarmor) i Nordland er svært store. Fig. 16 gir en grov oversikt over karbonatforekomster i hele landet, noe mer detaljert for Nordland hvor Håfjell (Ballangen) – Evenes området i Ofoten er spesielt framhevet. En rekke forekomster kan være egnet for selektiv karbonsyreoppløsning, for eksempel en sone med høyren kalsiumkarbonat som strekker seg sørvestover fra Karvevika i Ballangen (Fig. 16 C) og forekomster ved Evenes (Rørvika, Fig. 17), jfr. Korneliussen m.fl. (2011). Forekomstene Karvevika og Rørvika inneholder høyren kalsiumkarbonat (lavt innhold av karbonatbundet jern og mangan) av potensiell høy verdi. Den store utfordringen er å kunne produsere et tilstrekkelig rent karbonatprodukt, noe som kanskje kan la seg gjøre ved selektiv karbonsyreoppløsning, se nærmere omtalt av denne prosessstekniske muligheten på side 14.

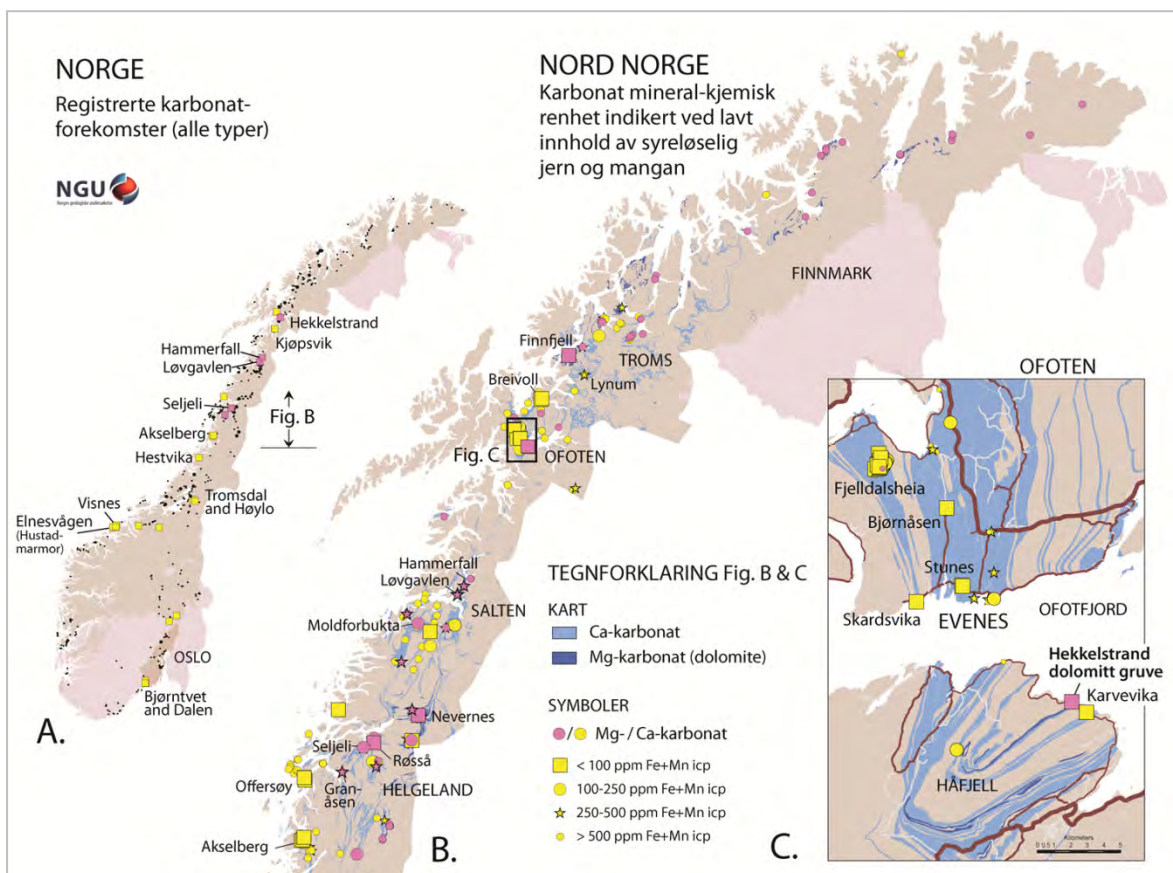


Fig. 16: Opptreden av karbonat i Nordland.

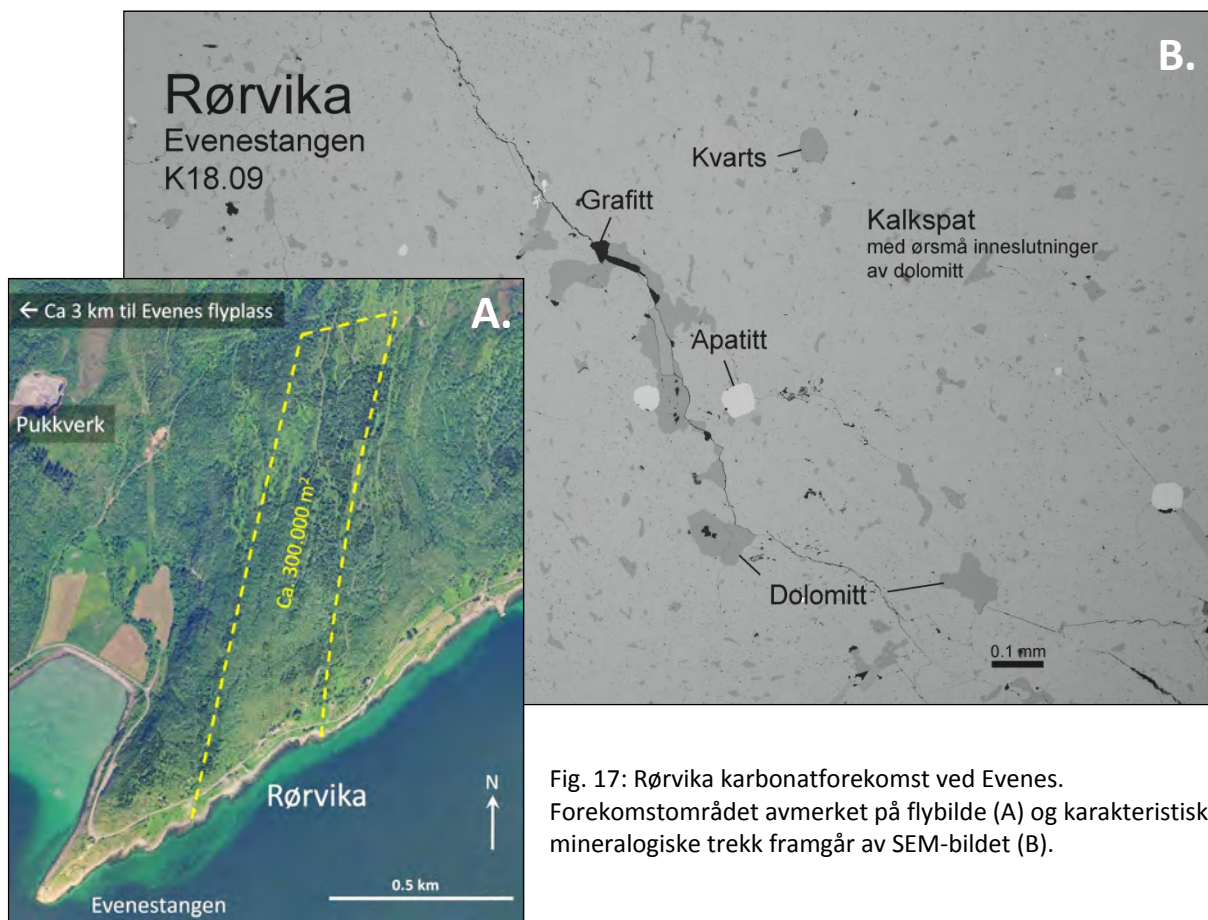


Fig. 17: Rørvika karbonatforekomst ved Evenes. Forekomstområdet avmerket på flybilde (A) og karakteristiske mineralogiske trekk framgår av SEM-bildet (B).

DOLOMITT

Nordland har en mengde dolomittforekomster (Fig. 18) hvorav Hekkelstrand i Ballangen, Hammerfall i Sørfold og Seljeli i Vefsn er i drift. Seljeli dolomitten er egnet som råvare for produksjon av brent dolomitt for bruk i stålproduksjon. Produksjon av brent dolomitt skjer i dag ved bedriften SMA i Mo i Rana, basert på råvare fra Seljeli.

Dolomitt ved Ljøsenhammeren i Misvær som har vært undersøkt i regi av Statskog, er egnet for produksjon av brent dolomitt.

Alt i alt kan en anse ressursmulighetene for dolomitt egnet som råvare for produksjon av brent dolomitt, for eksempel i kombinasjon med gass, som betydelige.

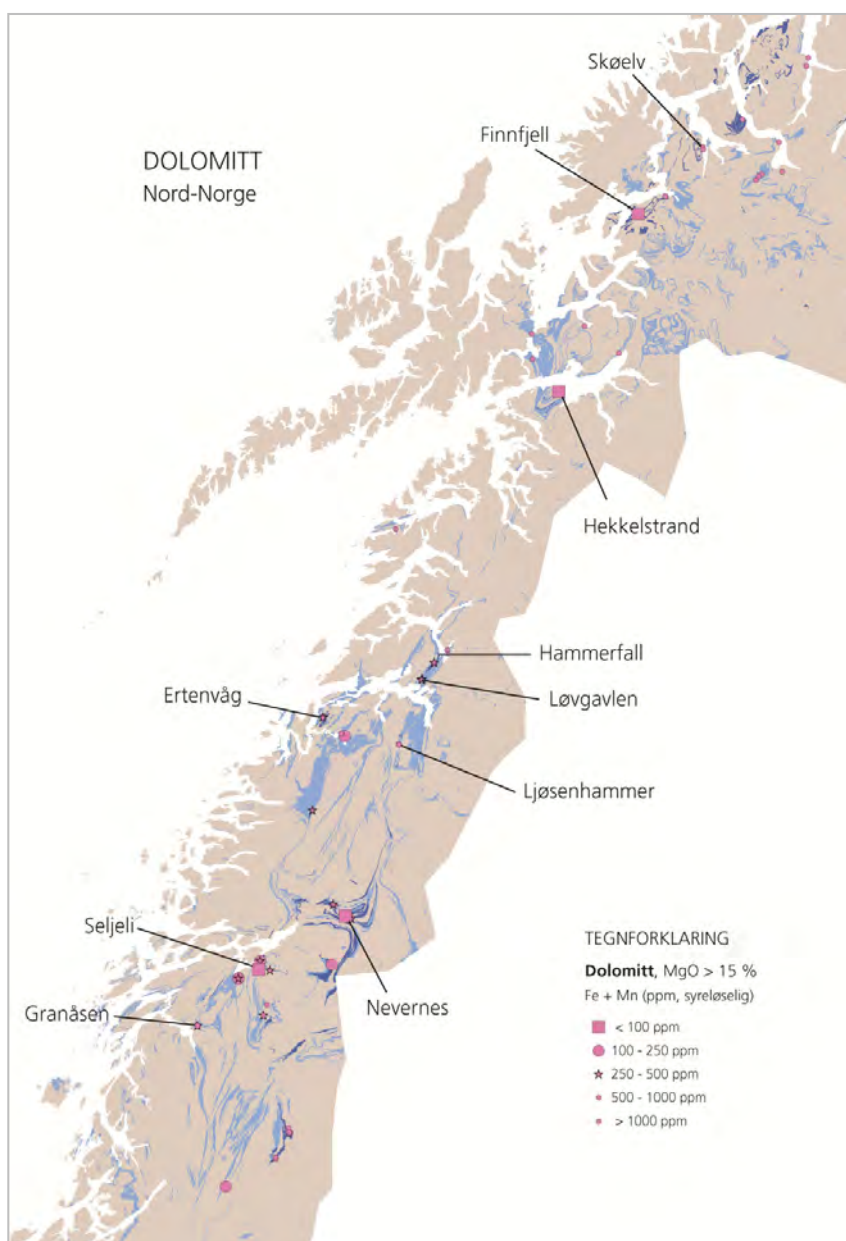


Fig. 18: Oversiktskart som viser noen dolomittforekomster i Nordland.

RÅNA NIKKEL-OLIVIN FOREKOMST I BALLANGEN

Råna intrusjonen i Ballangen inneholder store mengder av olivinrike bergarter, i hovedsak tilknyttet bergartstypen peridotitt. Opptreden av disse bergarter framgår av det geologiske kartet i Fig. 19 som er hentet fra "the Fennoscandian Ore Deposit database",

<http://geomaps2.gtk.fi/website/fodd/viewer.htm>. For nærmere geologisk beskrivelser, se Boyd og Mathiesen (1979), Boyd (1980) and Lamberg (2005).

Nikkel-kobber sulfider i olivinrike bergarter (peridotitt) ved Bruvann var i perioden 1989-2001 gjenstand for gruvedrift i regi av selskapet "Nikkel og Olivin". Driften ble lagt ned i 2001 i en periode med lave nikkelpriser. Nikkelprisen steg deretter betydelig og forekomsten ved Bruvann så vel som nikkel i andre deler av Råna intrusjonen har siden vært gjenstand for nye undersøkelser i regi av selskapet Scandinavian Highlands.

Status i dag er at de kjente Ni-forekomster i Råna ansees å inneholde betydelige ressurser av lavgehaltig nikkelmalm. Gjenværende dokumenterte reserver er ca. 9 millioner tonn med mulighet for mer, og er med dagens nikkelpriser potensielt drivverdig.

Forekomstene kan få fornyet interesse hvis en kan få til en effektiv utvinning av nikkel ved syrebasert oppløsning. Dette er enda ikke testet eksperimentelt. Det er flere muligheter for syrebasert luting hvorav én er karbonsyrebasert oppløsning av bergarten slik som skissert i denne rapporten. I så fall vil en kunne bli i stand til både å ekstrahere sulfidbundet nikkel (som ble utvunnet ved den tidligere gruvedriften) og i tillegg olivinbundet nikkel (ikke utvunnet tidligere). En vil dermed kunne oppnå en større Ni-basert verdiproduksjon, samtidig som en vil kunne binde CO₂ mineralogisk.

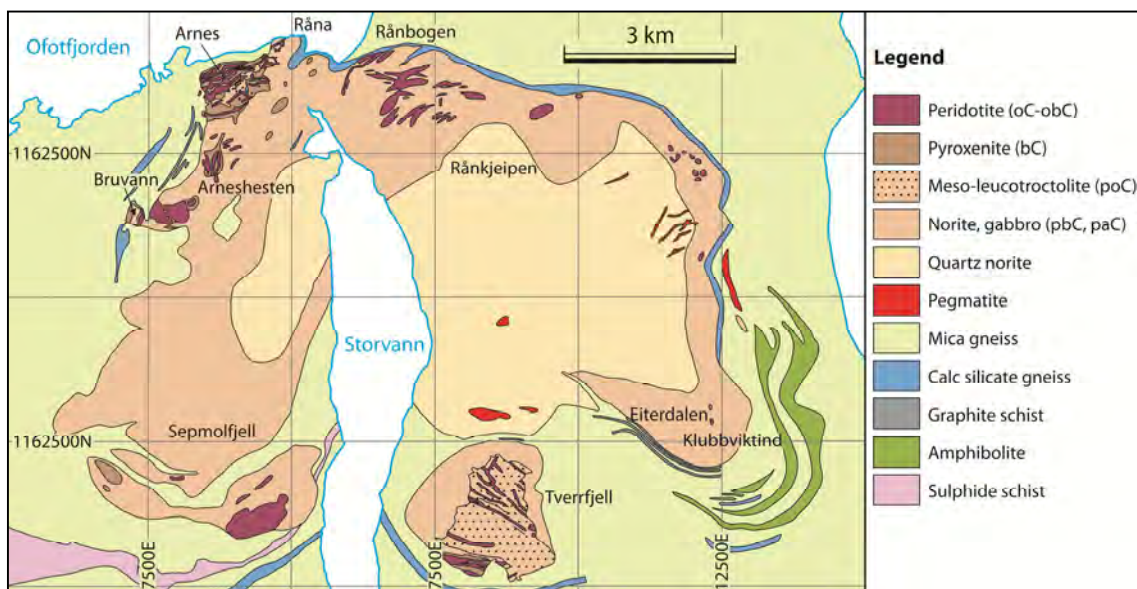


Fig. 19: Geologisk kart over Råna intrusjonen, Ballangen. Kartet er basert på Boyd og Mathiesen (1979), Boyd (1980) and Lamberg (2005) og er sammenstilt for bruk i "The Fennoscandian Ore Deposit database", P. Eilu (red., planlagt utgitt 2012).

APATITTHOLDIG KLINOPYROKSENITT I MISVÆR

Klinopyroksenrike bergarter er i prinsippet løselig i karbonsyre (Kjeøy prosessen), men evnen til å binde CO₂ er lavere enn for olivin. Den ubetinget største forekomsten av slike bergarter som er kjent i fylket ligger i Misvær (Fig. 20) like sør for Misvær sentrum, 2-3 km fra sjøen. Denne forekomsten inneholder i tillegg fosformineralet apatitt (Ihlen 2008) i så store mengder at dette kan tenkes å kunne få økonomisk betydning. En kan for eksempel tenke seg at CO₂-prosessering gjennomføres på avgangsmateriale fra apatitt produksjon, og at dette i så fall vil styrke prosjektets totaløkonomi og miljøprofil.

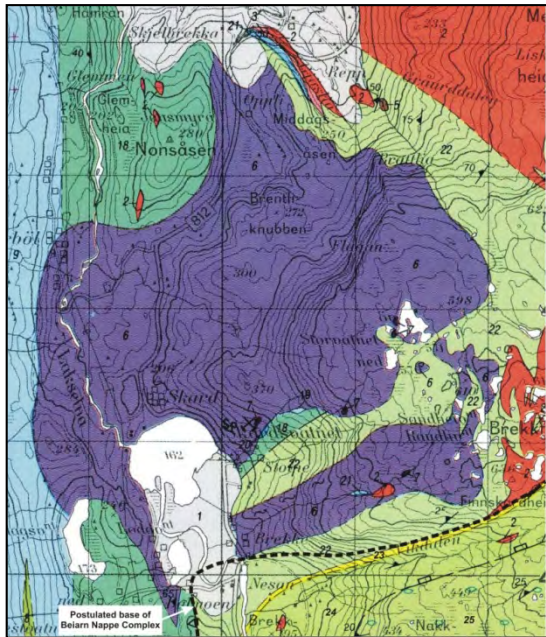


Fig. 20: Geologisk kart, Misvær pyroksenitt (Solli m. fl. 1992).

Tegnforklaring til kartet: 1 - Løsmasser, 2 - Granitt og granodioritt, 3 - Tonalitt og kvartsdioritt, 5 - Meta-gabbro, 6 - Pyroksenitt, 7 - Kleberstein, 8 - Staurolitt skifer, 9 - Kalkspatmarmor, 18 - Glimmerrik gneis, stedvis migmatittisk, 22 - Granatførende glimmerskifer, 23 - Kvartsitt, 24 - Granatførende kvartsglimmerskifer, 25 - Konglomeratisk kalkholdig glimmerskifer.

6. DISKUSJON

Hvorfor satse på mineralbasert verdiskaping

En god grunn til å prioritere videreutvikling i mineralbasert industri er hensynet til langsiktig næringsvirksomhet i distriktene. Mineralforekomster representerer unike muligheter for næringsutvikling, og en slik utvikling kan stimuleres ved ulike typer av offentlig tilrettelegging.

Den norske petroleumsvirksomheten kommer til å reduseres etter hvert. I dette perspektivet er det behov for å videreutvikle andre næringer. Nordland er konkurransedyktig på industriproduksjon generelt, og integrert mineralproduksjon og prosessindustri slik som skissert i denne rapporten bør absolutt ha muligheter. Egnede forekomster og kompetente bedrifter er i denne sammenheng viktig for å kunne lykkes.

Interessen for mineralske råvarer har økt betydelig i de senere år. En viktig faktor i denne utviklingen er den økonomiske veksten i Kina, som har resultert i stor etterspørsel i første rekke etter metaller, og som igjen har resultert i høye priser. Denne utviklingen har resultert i øket interesse for leting etter nye forekomster (prospektering), også i Norge.

Økt verdiskaping basert på mineralske råvarer kan oppnås ved ulike tilnærminger:

1. Videreutvikling og effektivisering innen eksisterende produksjonsbedrifter (gruve- så vel som prosessbedrifter) rettet mot styrket konkurranseevne og økt lønnsomhet. Dette er en kontinuerlig prosess i de fleste bedrifter i "gode" så vel som i "dårlige" tider.
2. Leting etter nye forekomster (prospektering) som inneholder metaller med stor etterspørsel og høye priser (kopper, nikkel, jern, gull, sjeldne jordartsmetaller, m.fl.). I dette ligger også fornyet interesse for kjente forekomster som tidligere har vært ansett som ikke drivbare, men som sett i lys av høye råvarepriser vurderes på nytt.
3. Utvikling av nye teknologiske løsninger rettet mot å etablere næringsvirksomhet med utgangspunkt i kjente forekomster.

CO₂-basert prosessering av visse typer av mineralske råvarer som er tema i denne rapporten, kommer inn under den tredje kategorien. Utfordringen er i dette tilfellet å ekstrahere potensielt verdifulle mineralske komponenter fra bergarter hvor de har liten eller ingen verdi i utgangspunktet, samtidig som en kan binde CO₂ i andre mineralske komponenter.

Det er ingen motsetning mellom disse ulike tilnærmingene, de utfyller hverandre og vil til sammen sikre en langsiktig mineralbasert industriell utvikling til beste for en rekke utkantstrøk så vel som for landet som helhet.

God nasjonal tilgjengelighet av egnede mineralske råvarer for CO₂-basert prosessering

Prosessutviklingen er avgjørende for hvorvidt CO₂ kan benyttes for mineralbasert industriproduksjon, og må ha første prioritet i den videre utviklingen. Dernest må tilgjengeligheten av egnede mineralske råvarer være god, noe den avgjort er. Faktisk er alle nødvendige råvarer for industriell implementering av Kjøp-konseptet tilgjengelig i dagens marked; gass er tilgjengelig som LNG og

mineralske råvarer er tilgjengelige fra eksisterende gruvebedrifter ulike steder i landet.



Fig. 21: Tilgjengelighet av relevante mineralske råvarer fra gruver i drift.

Behov for miljøakseptable deponiløsninger

Ny industribygging er ytterst komplekst, og i enda større grad enn ellers hvis det innebærer produksjon av store mengder CO₂ som må håndteres på en miljøakseptabel måte. Konseptet innebærer at CO₂ bundet i mineralform lagres i deponi enten i fyllinger på land eller på sjøbunn. Det blir en stor utfordring å lokalisere egnede steder for slik deponering og hvordan deponeringen skal gjennomføres. Det er i denne sammenheng viktig å utvikle forskningsbasert kunnskap om hvilke konsekvenser ulike typer deponering kan få for nærmiljøet over tid.

Behov for videreutvikling av gass/CO₂-relevante mineralske råvarer

Gass-mineral basert industriutvikling i fylket, som for eksempel et jernverk i Mo i Rana basert på jernmalm fra Rana Gruber og LNG skipet inn med båt, vil nødvendigvis kreve en miljøakseptabel CO₂-håndtering. Dette kan i prinsippet løses ved CO₂-prosessering av olivin fra Vestlandet, ekstraksjon av nikkel integrert med CO₂-prosesseringen, og deponering av CO₂-holdig mineralogisk materiale⁹ i Ranafjorden.

Problematikken blir helt tilsvarende hvis en velger Narvik som sted for gassbasert jernproduksjon. En mulighet er i så fall å hente olivin fra Råna-forekomsten i Ballangen (ny gruvedrift), ekstraksjon av nikkel integrert med CO₂-prosesseringen, og deponering av CO₂-holdig mineralogisk materiale på et dertil egnet sted.

Gass/CO₂-basert industriutbygging kan i prinsippet skje nærmest hvor som helst langs kysten, hvor en kritisk faktor er egnede deponiløsninger for store mengder mineralogisk materiale.

Nordland kan styrke sine muligheter for en betydelig andel av en slik industriutbygging gjennom aktiv tilrettelegging på ulike måter, hvor det viktigste sannsynligvis er "geopolitisk" og "miljøpolitisk" tilrettelegging for industriutbygging i bestemte områder. I denne rapporten er Mo i Rana, Narvik og Evenes nevnt som aktuelle steder for slik industriutbygging, men også annen lokalisering kan komme i betraktning.

Som tidligere påpekt er det overordnede målet videreutvikling av mineralbasert industri for å oppnå en langsiktig næringsutvikling, noe som kan oppnås ved videreutvikling av eksisterende bedrifter, leting for å påvise nye forekomster og utvikling av nye teknologiske løsninger. Selv om sistnevnte er tema for denne rapporten, så er det stor fokus på leting spesielt etter metalliske råvarer som for eksempel NGUs satsning på regional flygeofysikk i de nordligste fylkene.

Det «å ha flere ben å stå på» og ha ulike tilnærminger rettet mot økt mineralbasert verdiskaping, vil samlet sett øke mulighetene for et vellykket resultat og kan neppe undervurderes. Dette er helt i tråd med grunnholdningen i Geonor-rapporten¹⁰ som tar for seg mineralbasert verdiskaping i «hele

⁹ Mengde mineralogisk avgang kan i prinsippet reduseres ved produksjon av salgbare produkter som for eksempel magnesitt (MgCO₃) med tilstrekkelig renhet for annen industriell anvendelse.

¹⁰ Geonor-rapporten om «Industriell verdiskaping basert på geologiske ressurser i Nordområdene» er utarbeidet av Sintef (koordinator), NTNU, Norut og NGU, og den er tilgjengelig på http://www.sintef.no/upload/Materialer_kjemi/aktuelt/GeoNor%20sluttrapport-web.pdf. Rapporten har en rekke anbefalinger, av spesiell relevans for gass-CO₂-mineral problematikken er forslaget om gass-mineral baserte industriklynger. Den uttrykker også en ambisjon om «CO₂-nøytrale industriklynger», men har ingen annen løsning for CO₂-håndtering utover reinjisering i Snøhvitreservoaret når det gjelder en eventuell industriklynge i Hammerfest.

verdikjeden» i Nordområdene.

For konkret å styrke de langsiktige muligheter for mineralbasert næringsutvikling i fylket anbefales følgende:

- Nordland har et eksepsjonelt godt ressursgrunnlag for KARBONATER i ulike varianter hvorav noen avgjort kan være egnet for gass/CO₂-basert verdiskaping. Følgende undersøkelser bør utføres: (a) Undersøke forekomsternes egnethet for gassbasert produksjon av brent kalk og dolomitt. (b) Detaljundersøkelser av forekomstene Karvevika (Ballangen) og Rørvika (Evenes) som har potensialer for produksjon av høyren kalsiumkarbonat via selektiv karbonsyreoppløsning, samtidig som ressursgrunnlaget synes å være stort (Korneliussen m.fl. 2011).
- For olivin er forekomster i Rånafeltet i Ballangen (Fig. 19 side 30) sannsynligvis i særklasse for Nordland så vel som for Nord-Norge som helhet, og egnetheten for CO₂-basert prosessering bør undersøkes i detalj.
- Tilsvarende som for Råna bør apatittholdig pyroksenitt i MISVÆR (Fig. 20 side 31) vurderes i detalj for CO₂-basert prosessering sett i sammenheng med produksjon av apatitt.

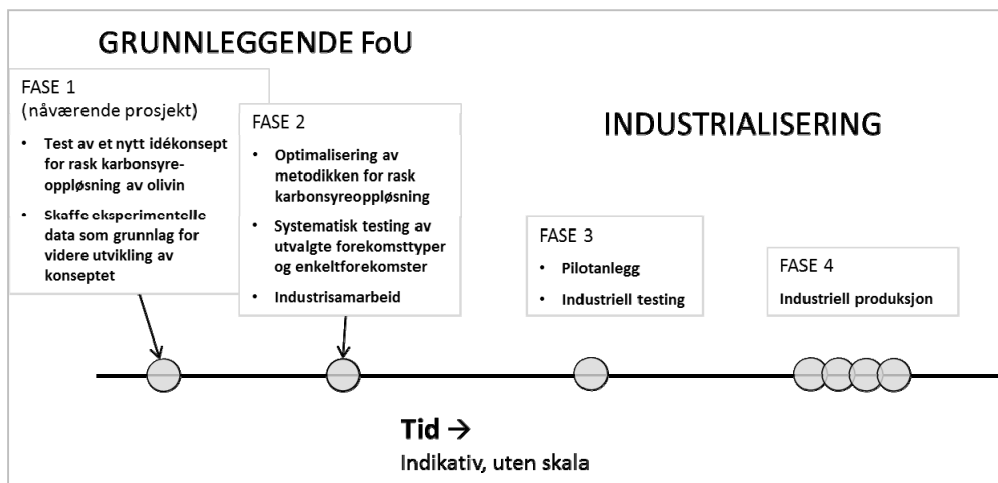


Fig. 22: Scenario for videre utvikling av Kjeøy konseptet.

Scenario for videre utvikling

For detaljert informasjon om Kjeøy konseptet for CO₂-basert oppløsning av bergarter henvises til særskilt rapport av Walder m.fl. (2011).

Eventuell industriproduksjon basert på Kjeøy konseptet kan baseres på råvarer tilgjengelig i dagens marked, for eksempel LNG, jernmalkonsentrat og olivin. Dette gjør ny industriutvikling langt enklere enn om en samtidig var nødt å etablere ny gruvedrift.

Hvis den første industriutvikling basert på tilgjengelige råvarer blir vellykket vil det etter hvert bli aktuelt med ekspansjon, og det kan bli aktuelt å vurdere flere råvarekilder og i den sammenheng også hvilke nye forekomster som kan komme i betraktning.

I dette perspektivet er det ønskelig å ha god oversikt over hvilke forekomsttyper og enkeltforekomster som kan bli aktuelle.

Det er avgjørende at den pågående prosessutviklingen (Fase 1) i scenarioet for videre utvikling av Kjeøy konseptet (Fig. 22) framskaffer eksperimentelle data på at idékonseptet fungerer, og at det dermed er overbevisende grunnlag for økt videre FoU-innsats rettet mot videreutvikling av prosessen (Fase 2). Fase 3 er videre industrirettet utvikling og Fase 4 er industriell produksjon. Tidsperspektivet er høyst usikkert, men klar industrirettet fokus og god tilgang på forskningsressurser (kapital og kompetanse) vil framskynde utviklingen betraktelig.

7. KONKLUSJON

Kjeøy konseptet for rask oppløsning av dunitt/olivin og visse andre bergartstyper, og mineralogisk binding av CO₂ i form av karbonatmineraler for deponering, åpner opp for en ny type mineralbasert verdiskaping med store industrielle perspektiver. Konseptet gir unike muligheter for verdiskaping ved at CO₂ går fra å være et problematisk avfallsprodukt som kan forhindre en ellers lønnsom industriell utvikling, til å bli reagens i en annen industriell prosess.

Gassbasert verdiproduksjon kan for eksempel være produksjon av jern fra jernmalm og brent kalk og dolomitt fra dertil egnede karbonatforekomster. CO₂-basert verdiproduksjonen kan være produksjon av Al₂O₃, SiO₂, Ni og PCC (CaCO₃) fra bergarter som anortositt, dunitt (olivin) og kalkspatmarmor.

For Nordland kan denne teknologien åpne opp for industriell virksomhet relatert til industri som produserer CO₂, og kan gjøre det miljøpolitisk mulig å bygge gass/LNG-baserte jernverk for eksempel i Narvik eller Mo i Rana.

En ulempe er at store mengder CO₂-holdig mineralogisk materiale må deponeres, og en stor utfordring blir derfor å etablere miljøakseptable deponeringsløsninger for sjø (fjordbunn) og land.

Det er en avgjort fordel (men ingen betingelse) at industribyggingen kan baseres på mineralske råvarer skipet inn fra gruver i produksjon andre steder, for eksempel olivin og anortositt fra Vestlandet. Dette gjør industriutviklingen mulig uten at en samtidig må starte ny gruvedrift, noe som vil være en kompliserende faktor spesielt i oppstarten. Ny gruvedrift kan bli aktuelt i senere faser av utviklingen.

Aktuelle mineralressurser i fylket som anbefales videreutvikles for å styrke gass/CO₂-senariet på lang sikt er visse karbonatforekomster i Ofoten, Råna olivin (+ nikkel) forekomst i Ballangen og en pyroksenitt/apatitt-forekomst i Misvær.

8. REFERANSER

Boyd, R. 1980: Geologisk oversiktsrapport, Bruvannsfeltet, Ballangen kommune, Nordland. Norges geologiske undersøkelse rapport 1582 A, 45 s. + 53 kart.

Boyd, T. & Mathiesen, C.O. 1979: The nickel mineralization of the Råna mafic intrusion, Nordland, Norway. Canadian Mineralogist 17, 287–298.

Geonor - Industriell verdiskaping basert på geologiske ressurser i Nordområdene. Rapport utarbeidet av Sintef, Norut, NTNU og NGU, tilgjengelig fra

http://www.sintef.no/upload/Materialer_kjemi/aktuelt/GeoNor%20sluttrapport-web.pdf, 51 s.

Ihlen, P.M. 2008: Lithochemical investigations of potential apatite resources in the Misværdal and Hopsfjellet ultramafic massifs, northern Norway. NGU rapport 2008.074, 57 s.

Korneliussen, A., Raaness, A., Schaller, A. & Gautneb, H. 2011: Forekomster av kalsiumkarbonat i Evenesområdet. NGU rapport 2011.040, 40 s.

Lamberg, P. 2005: From genetic concepts to practice – lithogeochemical identification of Ni-Cu mineralised intrusions and localisation of the ore. Geological Survey of Finland, Bulletin 402. 264p.

Münz, I.A., Kihle, J., Brandvoll, Ø., Machenbacha, I., Carey, J.W., Haug, T.A., Johansen, H. & Eldrup, N. 2009: A continuous process for manufacture of magnesite and silica from olivine, CO₂ and H₂O. Science Direct, Energy Procedia 1 (2009), 4891–4898.

Neeb, P.R., Sandvik, G., Tangstad, R., Todal, M., Strand, G., Brugmans, P.R., Wennberg, H. & Kaasbøll, B. 2011: Mineralressurser Norge 2010. Mineralstatistikk for Norge utgitt av NGU og Direktoratet for mineralforvaltning, 25 s.

Nordmo, F., Bjørkmo, B., Torstensen, O., Jørgensen, J., Nordvåg, T., Wakelin, R., Nilsen, R., Arntsen, B. & Dang, N. 2010: Mulighetsstudie 2010. Økt bruk av naturgass i Nordland. Norut rapport NTAS F2010-1, 50 s.

Solli, A., Farrow, C.M. and Gjelle, S. 1992: MISVÆR 2029 II. Berggrunnskart, M 1:50 000. Norges geologiske undersøkelse.

Walder, I., Bialecki, R. & Korneliussen, A. 2011: Experiments for CO₂ mineral leaching of olivine. Kjeøy Research & Education Center. Konfidensiell rapport til Nordland fylkeskommune og Innovasjon Norge.