

Vitenskapelig artikkel

Fra separate fagdisipliner til integrert mineralressursforvaltning i bergindustrien

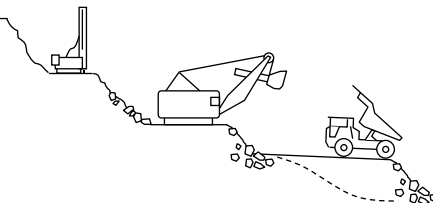
Sunniva Haugen^{1,*} og Erik Ludvigsen¹

¹ Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, Sem Sælands veg 1, N-7491 Trondheim

* Korresponderede forfatter: sunniva.haugen@ntnu.no

SAMMENDRAG

Artikkelen ser tilbake på utviklingen av fagområdet mineralressursforvaltning (MRM) med utgangspunkt i norske forhold. Innholdet i MRM-konseptet beskrives, og vi viser hvordan MRM-filosofien gjenspeiles i bergingeniørutdannelsen ved NTNU. I mineralressursforvaltning er ledelsens fokus flyttet fra maskiner og personale til utnyttelsen av bedriftenes viktigste verdiskapende eiendel; mineralforekomsten. Sentrale begrep innenfor MRM er: tverrfunksjonell integrasjon langs verdikjeden, optimaliserte planer, og fokus på økonomisk lønnsomhet og verdiskapning. Nye tanker om organisasjon og ledelse har vært en av drivkreftene bak utviklingen av MRM i Norge og internasjonalt. Den raske teknologiske utviklingen fra slutten av 1970-tallet har muliggjort dagens arbeidsmetoder. Utviklingen av MRM i Norge er også påvirket av strukturendringer i den norske bergindustrien. I takt med denne utviklingen har også bergingeniørutdanningen ved NTNU utviklet seg. Studieretningens navn; Mineralproduksjon og teknisk resursgeologi, understreker at studiet fortsatt er integrert langs verdikjeden. Det undervises også i to tverrfunksjonelle MRM-emner som omfatter: Gruvemåling, Gruvegeologi, Gruveevaluering, Gruvedesign og Gruveplanlegging.



I. INNLEDNING

I norsk språkbruk gir ordet mineralressursforvaltning lett assosiasjoner til Direktoratet for mineralforvaltning (DMF) og forvaltningen av mineralloven, men begrepet omfatter langt mer enn tildeling av leterettigheter, godkjenning av driftsplaner og behandling av søknader om driftskonsesjoner.

Det engelske navnet er «Mineral Resource Management» - ikke «Administration». Dette ordvalget indikerer at MRM handler om planlegging, organisering, ledelse og styring av mineralproduksjon.

I følge Macfarlane (2006) ved universitetet i Witwatersrand ble MRM-konseptet introdusert i 1996 i Sør-Afrika, der det Anglo American-eide prospekterings- og

gruveselskapet Vaal Reefs ønsket å forbedre samarbeidet mellom geologi, gruvemåling, malmberegning og gruveplanlegging i en av sine gruver. I løpet av den neste 10-års perioden utviklet konseptet seg videre i Sør-Afrika og ble implementert i bl.a. Anglo Gold Ashanti, Gold Fields, Anglo Platinum og BHP Billiton.

Men man støter på MRM-begrepet ennå tidligere, bl.a. i en presentasjon på APCOM i 1987 som beskriver et integrert grafisk datasystem for mineralressursforvaltning (Blaauw og Trevarthen, 1987).

Macfarlane (2006) beskriver mineralressursforvaltningens rolle som: «å identifisere, optimalisere og realisere verdiene i mineralforekomsten, ved å konvertere den fra en i utgangspunktet antatt ressurs til en påvist reserve og videre til et salgbart produkt.» Han definerer MRM som: «en integrert aktivitet som identifiserer, evaluerer og framskaffer en optimal utvinningsplan for mineralressursen, for å kunne produsere et kvalitetsprodukt som tilfredsstiller bedriftens mål og kundens krav, i dynamiske omgivelser....».

J. Camus skrev i 2002 en bok om forvaltning av mineralressurser basert på sine erfaringer fra gruveindustrien i Chile (Camus, 2002). Her definerer han mineralressursforvaltningens mål som «å utforme og implementere gruveplanen», dvs. strategien for hvordan forekomsten både skal brytes og foredles.

Utviklingen mot integrert mineralressursforvaltning i Norge har gått parallelt med den i Sør-Afrika og det har vært flere bakenforliggende drivkrefter: 1)Nye organisasjons- og ledelsesfilosofier, 2)Teknologisk utvikling, 3)Strukturelle endringer i den norske bergindustrien. Denne artikkelen beskriver innledningsvis disse bakenforliggende forholdene. Deretter gis en presentasjon av MRM basert på litteratur fra Sør-Afrika og Chile. I det neste avsnittet gis eksempel på den norske bergindustriens tilnærming til MRM-konseptet sammen med en beskrivelse av hvordan dette i Norge ble utviklet i nært samarbeid mellom fagmiljøet ved NTNU og bedrifter i den norske bergindustrien. Deretter behandles kort integrerte datasystemer for MRM. Avslutningsvis viser vi hvordan bergingeniørstudiet både ved NTNU i Norge og Witwatersrand i Sør-Afrika er integrert langs verdikjeden i tråd med MRM-filosofien.

2. NYE ORGANISASJONS- OG LEDELSEFILOSOFIER

I siste halvdel av 1980-tallet hadde man begynt å sette spørsmålstegn ved den tradisjonelle, funksjonsinndelte organisasjonsstrukturen, og kritikken mot tungroddede byråkratiske organisasjoner med vanntette skott mellom avdelingene vokste. De nye, japanske ideene om total kvalitetsledelse (TQM) og Just-in-Time

produksjon (JIT) viste seg å være vanskelige å implementere i vestlige selskap. Phil S. Ensor (1988) fra Goodyear beskrev problemet med denne type organisasjoner som et «silo-syndrom»: Hver avdeling har utviklet sin egen kultur og interne sjargong og det er dårlig kommunikasjon på tvers av avdelingene. De ansatte føler større tilhørighet til sin avdeling enn til bedriften. Andre «siloer» oppfattes som konkurrenter, horisontal integrasjon ses som en trussel og man kjemper for å bevare avdelingens selvstendighet. På alle nivåer i organisasjonen forsøker man å beskytte sine egne posisjoner ved å unnlate å ta ansvar for problemer som oppstår. Beslutninger tar lang tid, da de skal opp og ned gjennom hierarkiet i flere avdelinger etter hverandre. Avdelingene har interne, funksjonsspesifikke, nøkkeltall som ikke nødvendigvis støtter opp om bedriftens overordnede mål, og optimalisering av den enkelte avdelings mål leder ofte til sub-optimalisering av bedriftens totale resultat.

I 1985 introduserte Mikael Porter verdikjedebegrepet (Porter, 1985). Porters tanker representerte et brudd med den tradisjonelle inndelingen av bedrifter i funksjonelle «siloer» til fordel for tverrfunksjonelle organisasjoner som tok ansvar for produktet gjennom hele verdikjeden fra råvare til kunde. Porter delte verdikjeden inn i primære aktiviteter og sekundære aktiviteter, også kalt støttefunksjoner. Verdikjede-konseptet er nært knyttet til begrepet verdiskapning. Man skiller mellom verdiskapende og ikke-verdiskapende aktiviteter, der de verdiskapende aktivitetene er de som tilfører produktet en verdi som kunden vil være villig til å betale penger for. De primære, verdiskapende, aktivitetene i Porters verdikjede for vareproduksjon består av: inngående logistikk, prosessering, utgående logistikk, markedsføring og salg og til slutt service. De ikke-verdiskapende aktivitetene i bedriften kan fortsatt være helt nødvendige selv om de ikke skaper direkte kunde verdi. Vedlikehold er et typisk eksempel på en nødvendig ikke-verdiskapende aktivitet. I prinsippet skal dog de ikke-verdiskapende aktivitetene elimineres og de verdiskapende aktivitetene utføres mest mulig effektivt. En lignende tankegang finner vi innen Lean Produksjon (Womack et al., 1990 samt Liker, 2004), der man etterstreber å eliminere alle former for sløseri fra produksjons-prosessen; venting, overproduksjon, lager, omarbeid, transport, unødvendig bevegelse, og overarbeide.

I 1999 beskrev Rummler og Brache (1995) «de hvite flekkene på organisasjonskartet» - områdene mellom boksene på organisasjonskartet der ingen har et formelt ansvar. I disse grensesnittene skjer viktige overleveringer fra en funksjon til en annen, ting risikerer å falle mellom to stoler og det oppstår ofte misforståelser og forsinkelser. Rummler og Braches budskap var at dersom bedriftens resultat skal kunne forbedres, så må fokus være på forbedring og styring av de tverrfunksjonelle prosessene.

3. TEKNOLOGISK UTVIKLING INNEN GRUVEMÅLING OG KARTPRODUKSJON

En gang i tiden var det å kunne skrive, føre i pennen, et levebrød for mange. Nå må en kunne gi ordene et innhold for å kunne ha skrijving som et levebrød. På samme måte var engang det å kunne fremskaffe koordinater for punkt og linjer, og føre disse over på papiret, et levebrød for mange mens nå stadig flere må kunne gi koordinatene et innhold for å ha dette som et levebrød.

Vi vil her forsøke å beskrive hvordan teknologien knyttet til gruvemåling og kartproduksjon etter å ha gjennomgått en gradvis utvikling over flere tusen år, radikalt ble endret så sent som i slutten av det forrige århundret.

Går vi fem-seks tusen år tilbake i tid var hjulet oppfunnet, og en kan anta at det var sivilisasjoner hvor en kunne vise romlige sammenhenger i form av kart. Euklidsk geometri, oppkalt etter den greske matematikeren Euklid som levde ca. 300 år før Kristus, handler blant annet om vinkler. Kunnskapen om at vinkelsummen i en trekant er 180° , stammer fra denne tiden. Gradskiven må ha vært i bruk for å måle vinkler, og avstander ble angitt med et antall hele og deler av en standard lengdeenhet. Grunnlaget for fremstilling av mer avanserte kart var med dette etablert.

Mercators kartprojeksjon for å tegne den dobbelt krumme jordoverflaten på et plant kart, ble presentert i 1569. Posisjonene angis ved denne projeksjonen med to vinkler; lengde- og breddegraden. Geografiske koordinater, d.v.s. lengde- og breddegrad, brukes mest ved kartlegging av større landområder. Mer detaljerte kart vises oftest i et projisert koordinatsystem med en nord-akse og en øst-akse vinkelrett på hverandre. Denne type koordinatsystemer kalles kartesisk koordinatsystem og ble beskrevet av Descartes i et verk utgitt i 1637(ualr.edu).

Teknologi for vinkelmåling var på denne tiden relativt godt utviklet. Et instrument som kan måle vinkler i både horisontal- og vertikalplanet, kalt en teodolitt, er omtalt i litteratur fra 1571(Daumas, 1989).

Teknologi for vinkelmåling var på Descartes sin tid relativt godt utviklet. Metoden for direkte avstandsmåling hadde derimot ikke gjennomgått en tilsvarende utvikling. Lange avstander ble bestemt med en kombinasjon av avstands- og vinkelmåling. Ved triangulering, etablering av et nett med trekantene, kan en ut fra en kjent side i en trekant og måling av vinklene i trekantene, finne lengder som langt overskrider den lengden som i utgangspunktet ble målt. Med kjente sider og

vinkler i nettet av trekanter kan koordinatene til hjørnepunktene i trekantene beregnes.

Kart for å dekke forsvars- og bergverksbehov var blant de første som ble utarbeidet i Norge, og det ble undervist i landmåling og karttegning ved Bergseminaret på Kongsberg som ble opprettet i 1757.

Forløperen til det som i dag er Statens kartverk ble dannet i 1773 (kartverket.no), og planmessig etablering av utgangspunkter for kartlegging ved hjelp av triangulering startet i Norge seks år senere.

Måling og beregning av utgangspunktene for kartlegging ble utført av spesialister kalt geodeter. Topografen sto for selve karttegningen. Mens geodeten beregnet koordinatene til utgangspunktene, benyttet topografen et målebord til grafisk å plassere detaljpunkter i forhold til utgangspunktene. Et målebord er en plate montert på et stativ. Etter at platen er plassert over et kjent punkt, kan den orienteres ved hjelp av en sikteanordning mot et annet kjent punkt. Nye punkt bestemmes enten ved at en sikter til de samme punktene fra to kjente punkt (fremskjæring), eller ved at en måler avstanden til punktet det siktes til (polar måling). Kartet blir på denne måten konstruert direkte ute i terrenget, med en etterfølgende sammenstilling av ulike kartutsnitt og rentegning. Denne metoden for kartlegging ble benyttet tilnærmet uforandret i norske bergverk fra 1700-tallet og helt fram til 1960-årene.

Kartlegging ved hjelp av bilder tatt med standplass på bakken, terrestrisk fotogrammetri, ble tatt i bruk til kartlegging i Norge i begynnelsen av det forrige århundret. Fotogrammetri, med bilder tatt fra fly, har siden andre verdenskrig vært det dominerende grunnlaget for utarbeiding av de nasjonale kartseriene.

I 1976 gikk det et større ras i en norsk gruve. Dette aktualiserte behovet for å kunne kartlegge utilgjengelige bergrom. Det ble da valgt å ta i bruk en metode for kartlegging basert på terrestrisk fotogrammetri og NTH gikk til anskaffelse av utstyr for å kunne gjennomføre slike målinger. Metoden går ut på at rommet fotograferes med et stereokamera; to kamera med parallelle akser plassert 1,2 m fra hverandre på en stang. Bildene blir etter fotografering plassert i en såkalt stereoautograf hvor en mekanisk gjenskaper strålegangen i det fotograferte rommet fra bildene. Et målemerke kan så føres langs veggene i den virtuelle modellen av rommet som man ser i stereoautografen. Ved at målemerkets bevegelse overføres til et tegnebord, fremstår et kart av rommet.

Det innkjøpte utstyret for terrestrisk fotogrammetri ble aldri tatt i bruk til formålet. En ny metode for avstandsmåling gjorde direkte kartlegging av utilgjengelige

bergrom mulig. Dette ble et vendepunkt som representerte et brudd med den over 2000-årige utviklingen av optisk-/mekanisk måleutstyr.

En pådriver i utviklingen av avstandsmålingen var et patent for måling av lyshastighet utviklet av Dr. Erik Bergstrand ved Lantmäteriet i Sverige. Patentet resulterte i lanseringen av den første Geodimeter avstandsmåleren i 1953 (Smith, 1998). Samtidig ble avstandsmålere basert på mikrobølger utviklet i Sør-Afrika, og et instrument egnet for landmåling, Tellurometer MRA 2, ble lansert i 1959 (Sturman og Wright, 2008). En av de første avstandsmålerne som benyttet infrarødt lys (IR) som bæreølge var Wild DI 10, som ble lansert i 1969. Det skulle vise seg at instrumenter som anvendte IR, og som brukte faseforskjellen mellom utsendt og reflektert signal til å bestemme avstanden mellom instrumentet og et reflekterende prisme, kom til å få størst utbredelse.

Geo-Fennel instrumentet FEN 2000 som ble lansert i 1983, benyttet pulslaserteknikk for å finne avstander. Pulslaserteknikken går ut på at et intenst lasersignal sendes mot det reflekterende målet. Tiden lyssignalet bruker fram og tilbake til det reflekterende målet registreres og benyttes til å beregne avstanden. Teknikken gjorde det mulig å måle mot naturlig reflekterende flater. Mot en vanlig gneisbergart var rekkevidden 40 til 70 m. Det var med denne pulslaserteknikken vi fikk en metode for kartlegging av utilgjengelige bergrom som erstattet fotogrammetri.

Kalkulatorene med trigonometriske funksjoner, som kom tidlig på 1970 tallet, revolusjonerte koordinatberegningsarbeidet ved at de erstattet oppslag i logaritmetabeller. Selv med kalkulatoren til hjelp, var det vanlig å regne med at en dag i felt ga en til to dagers kontorarbeid. Antall punkt som ble målt på en dag var begrenset fordi alle måledata manuelt måtte noteres i en bok.

På 1970-tallet kom de første totalstasjonene; en teodolitt koblet sammen med en avstandsmåler og med mulighet til å lagre målte vinkler og avstander. Først omkring 1990 var totalstasjonene vanlige i bruk. Sammen med personlige datamaskiner som nå hadde fått programmer for bearbeiding av måledata og tegning av kart, ga totalstasjonene en betydelig rasjonalisering av disse oppgavene. Ved at målingene kodes, er vi tilbake til samme situasjon som ved bruk av målebord; kartet «konstrueres» direkte ute i terrenget.

Ser vi på den siste tids utvikling, har vi nå totalstasjoner hvor en kan veksle mellom IR-teknikk ved måling av flere kilometer lange avstander, og pulslaserteknikk ved måling av kortere avstander på opp mot en kilometer. Dagens totalstasjoner kan også skanne overflater med innsamling av opp til 1000 punkt pr.

sekund. I tillegg til vinkler og avstander registreres også farge slik at flaten kan vises både med form og farge.

Mens tidlige tiders kartleggingsmetoder var styrt av mulighetene til å måle vinkler, dominerer nå teknologi basert på avstandsmåling. GNSS, fellesbetegnelsen på de ulike satelittnavigasjonssystemene, hvor det amerikanske GPS er det mest kjente, er basert på avstandsmåling til satellitter. Real time Kinematic (RTK) er den metoden som er mest anvendt til landmåling. Posisjonene bestemmes ved hjelp av nøyaktig avstandsmåling basert på fasen til signalenes bæreølge. Ved at det samtidig mottas korreksjonsdata fra en referansestasjon med kjente koordinater, kan det oppnås en posisjonsnøyaktighet på centimeternivå.

I analogi til tidligere tiders kartlegging etablerer geodetene nå utgangspunktet for kartlegging i form av satellitter og basestasjoner, mens topografen er brukeren av mottakerutstyret. Som ved måling med totalstasjon, kodes målingene ute i terrenget slik at kartet i stor utstrekning lages der.

Terrestrisk fotogrammetri for måling av utilgjengelige bergrom er tidligere omtalt som en forlatt metode, som ble erstattet av direkte måling med en totalstasjon og pulslaser avstandsmåler. Begge disse metodene har den begrensning at en som regel trenger flere oppstillingsplasser for å se hele rommet, noe som ofte ikke er mulig. Fotogrammetri er igjen blitt aktuelt, men da med bilder tatt fra en drone som flyr et vanlig kamera inn i rommet. Med relativt enkle dataprogrammer kan bildene settes sammen til en modell av rommet.

Kartlegging ved hjelp av droner er et godt eksempel på hvor viktig forbrukerelektronikken har blitt for den profesjonelle faglige utviklingen. Hobbymarkedet har gitt tilgang til billige droner. En stabiliserende gyro og innebygd GPS gjør dronene enkle å styre. Kartlegging gjøres mulig ved at dronen bærer et kamera som kan styres med en applikasjon i en smarttelefon.

De personlige datamaskinene vi fikk tilgang til i slutten av det forrige århundret, hadde i begrenset utstrekning programvare for de oppgavene de hadde potensialet til å løse. Mye energi ble derfor på denne tiden lagt ned fra både universiteter, bedrifter og leverandører for å videreutvikle teknologien og utvikle nødvendige beregningsrutiner og programvare til bruk i bergindustrien. I dag er teknologien langt mer moden, og det er ikke lenger det samme behov for å drive den teknologiske utviklingen framover for å kunne løse de aktuelle oppgavene. Allikevel utvikles det fortsatt nye løsninger. Et eksempel er samarbeidet mellom Boliden og Atlas Copco om utvikling av kartnavigering for boreriggene i gjensetningsbrytningen (van Wageningen, Andersson og Nystrøm, 2009). Atlas Copco samarbeider også med Brønnøy Kalk om bruk av parametere fra boreriggen

til å tolke råstoffegenskaper og oppsprekking for å gi informasjonsgrunnlag til selektiv brytning og planlegging av ladningen.

I dag er utfordringen i større utstrekning å finne fram til og ta i bruk eksisterende teknologi. De modeller av virkeligheten som vi trenger i forbindelse med gruvedrift, så vel over som under jord, kan med dagens teknologi gjøres svært virkelighetstro. I nær framtid vil vi ved hjelp av spillteknologi kunne bevege oss gjennom virtuelle gruver for f.eks. å studere geologien i ortveggene. Når teknologien ikke lenger setter begrensninger, risikerer man etterhvert «å skyte spurv med kanoner». Det er derfor nå en utfordring for fagmiljøene og brukerne i industrien å velge rett nivå på teknologien i forhold til de oppgaver som skal løses og den nytte som oppnås.

4. FORHOLDENE I DEN NORSKE BERGINDUSTRIEN

Samtidig som nye organisasjons- og ledelsesfilosofier vokste fram internasjonalt, gjennomgikk bergindustrien i Norge store strukturelle endringer. Sulfidgruvenes æra tok slutt og jernmalmsprodusentene slet med lave priser. Innsprøyting av finsk kapital og kompetanse forlenget driften ved noen norske bergverk, men mange ble nedlagt som følge av dårlig lønnsomhet og uttømte malmreserver. Ved tusenårsskiftet var det kun tre metallgruver i drift i Norge mot 30 ved slutten av andre verdenskrig. I dag står produksjon av byggeråstoffer (dvs. pukk, sand og grus) og industrimineraler for den største verdiskapningen og de største produksjonsvolumene i bransjen (Neeb et. al, 2014). Som en følge av denne strukturendringen gikk i 2008 de tre bransjeforeningene; Bergindustriens landssammenslutning (BIL), Steinindustriens landssammenslutning (SIL) og Pukk og grusleverandørenes landsforening, sammen til en felles organisasjon; Norsk Bergindustri.

Industrimineraler og byggeråstoffer betales generelt med mye lavere priser enn metallmalmen. Lavere malmverdi medfører et enda større press på kostnadsnivået enn i metallgruvene, og produsentene av industrimineraler og byggeråstoffer har rett og slett ikke råd til å sitte med like store organisasjoner som de tradisjonelle bergverkene.

Svært mange dagbrudd og også noen underjordsgruver har satt ut hele eller deler av brytningen til en entreprenør. Entreprenøren har her overtatt ansvaret for den daglige styring av brytninga, og løser utsetting og innmåling med egne personalressurser.

Det meste av pukk og industrimineraler brytes i dagbrudd eller i dagnære underjordsgruver med enkel geometri. Det er stor forskjell på behovet for

ajourføring av gruvekartet og geometrisk styring av brytningen i et dagbrudd sammenlignet med en dyp underjordsgruve. I et dagbrudd har man til enhver tid visuelt overblikk over geometrien, mens man i underjordsgruva har behov av tett oppfølging av spennvidder, avstand mellom nivåer og avsetning av pilarer.

Samfunnet stiller stadig strengere krav til mineralindustrien og bedriftene må i dag forholde seg til et stort antall interessenter utenfor bedriften; både i nærmiljøet, i politisk valgte beslutningsorganer, ulike interesseorganisasjoner og i den allmenne opinionen. Vegen fram til oppstart av et mineraluttak er blitt lengre. Den nye mineralloven av 2010 krever driftskonsesjon selv for de minste uttakene. Som regel må det utarbeides en reguleringsplan, og det kreves oftest også en konsekvensutredning. Planprosessen er blitt omfattende og arbeidskrevende. Det er et stigende behov for kompetanse på dette området i bransjen og mange bedrifter er henvist til å ta hjelp av konsulenter som er spesialister på planprosessen, men har begrenset kunnskap om mineralproduksjon.

Samtidig er dagens lover og forskrifter mer generelle enn tidligere og gir bedriftene større frihet til, men også større ansvar for, selv å velge løsninger som sikrer at lovens intensjoner oppfylles.

I Norge er det allmenne utdanningsnivået høyt og norske arbeidere har generelt høy kompetanse. Sammenlignet med de fleste land utenfor Skandinavia er lønnsstrukturen i Norge forholdsvis flat, med liten forskjell på lønnsnivået til en doktor ingeniør og en tunnelarbeider. Samarbeidet mellom arbeidsgiver- og arbeidstagerorganisasjonene er konstruktivt og i liten grad preget av konflikt og fastlåste stillinger. I motsetning til hva som er tilfelle i mange andre land, også i Europa, begrenser ikke avtalene mellom partene i industrien her til lands hvilke oppgaver de ulike personalkategoriene i organisasjonen får utføre.

6. MRM I GRUVEINDUSTRIEN

Som navnet indikerer, er fokuset i MRM flyttet fra organisering og styring av maskiner og personal til utnyttelsen av selve forekomsten. Både Camus (2002, 2015 i ref liste) og Macfarlane (2006) ser mineralforekomsten som bedriftens viktigste verdiskapende eiendel og påpeker at det er forvaltningen av denne ressursen som er avgjørende for bedriftens suksess. Macfarlane (2006) skriver at verdiene i mineralforekomsten realiseres i det en i utgangspunktet antatt ressurs konverteres til en påvist reserve og videre til et salgbart produkt.

Mineralressursforvaltning skulle kunne beskrives som integrert og optimalisert gruveplanlegging. I sin definisjon legger Macfarlane (2006) vekt på at MRM ikke bare handler om å beskrive forekomsten, men også det å ta fram den optimale

planen for utvinning av forekomsten. Dette valget av strategi for brytning og foredling av forekomsten vektlegges også av Camus(2002), men han understreker samtidig at MRM også må omfatte implementeringen av denne planen.

Integrasjon er et viktig begrep innenfor MRM; både integrasjon av planer med ulike planleggingshorisonter slik at de operative korttidsplanene støtter opp om de samme strategiske mål som langtidsplanene, og tverrfunksjonelt samarbeid langs verdikjeden på tvers av fagdisipliner slik at man unngår avdelingsvis sub-optimalisering.

Det er lett å finne symptomer i gruveindustrien på det omtalte «silo-syndromet»: Mange gruveplanleggere har sikkert opplevd at produksjonsavdelingen gjør alt annet enn å følge de planer man har tatt fram. Et annet konfliktfylt spørsmål er hvem som egentlig har ansvaret for tilgjengeligheten til produksjonsmaskinene – vedlikeholdsavdelingen eller produksjonsavdelingen?

I de store gruveselskapene tas strategier og planer sjelden fram av én person, men gjennom et samspill mellom spesialister fra mange ulike funksjoner; geologer, gruveingeniører, oppredningsingeniører, økonomer, markedsanalytikere og rådgivere innenfor lovverk, ytre miljø etc. Som nevnt i innledningen ble MRM-konseptet i Sør-Afrika introdusert i et forsøk på å bedre integrasjon og samarbeide mellom ulike avdelinger og fagdisipliner i en bedrift, for på den måten å øke kvaliteten på planene. Macfarlane (2006) fremholder prosessorganisasjonen som et middel til å oppnå det nødvendige fokus på verdiskapningen langs verdikjeden, mens Camus (2002) foreslår at selskapene oppretter en permanent organisatorisk enhet eller komité for MRM som opererer på tvers av avdelingsstrukturene og rapporterer direkte til toppledelsen. En slik enhet skulle ha samme tverrfunksjonelle sammensetning som de prosjektteam som etableres i forbindelse med prosjektering og mulighetsstudier av nye gruver.

Den ovenfor nevnte verdikjeden i bergindustrien har vær beskrevet på flere måter; Haugen (1999) presenterte en oversikt over forretningsprosessene i mineralindustrien basert på Porters modell, der de primære prosessene bestod av aktiviteter som øker forekomstens verdi; fra sikring av mineralrettighetene, planlegging av gruva, utbygging og oppfaring av forekomsten, brytning og oppredning av malmen til salg av mineralproduktet. Prospektering for å finne forekomster var her klassifisert som en utviklingsaktivitet. En alternativ inndeling av mineralforekomstens liv i faser, som beskrevet nedenfor, er helt i tråd med synet på MRM som transformering av forekomsten fra ressurs til produkt. Følgende inndeling er basert på Hartman og Mutmanský (2002): 1) Prospektering for å finne og undersøke forekomsten; 2) Forekomstevaluering – geologiske undersøkelser, estimering av volum og gehalter og lønnsomhetsvurdering; 3)

Forekomstutvikling – skaffe rettigheter og tillatelser, åpning og oppfaring, bygging av produksjonsanleggene; 4) Utvinning – bryting, oppredning og salg; 5) Rehabilitering – tilbakeføring av berørte landområder.

I samme ånd som den integrerte mineralressursforvaltningen, ble det på starten av 2000-tallet gjennomført et antall såkalte «Mine-to-Mill»-prosjekter i grensesnittet mellom gruve og verk. Mine to Mill (jktech.com.au) er registrert som et varemerke av JKTech; Universitetet i Queensland sitt selskap for teknologioverføring og kommersialisering av forskningsresultater. Tanken er at boring og sprengning ikke lenger skal styres mot laveste mulige kostnad i bruddet, men i stedet gi en fragmentering som optimaliserer hele produksjonsprosessen gjennom knusing og maling. Dette resulterte ofte i at gruveavdelingens brytningskostnader steg, mens oppredningsavdelingens kostnader for knusing og maling sank, og forhåpentligvis ble selskapets totale resultat forbedret.

Innen MRM er det sterkt fokus på økonomi og lønnsomhet. Selskapene må ha kostnadseffektive strategier for utvinning og foredling av forekomsten, og avbygningsplanen må optimeres slik at verdiskapningen maksimeres. MRM handler også om å kunne identifisere de prospekteringsmål, gruver og prosjekter som vil være i stand til å gi avkastning på investert kapital. Men det ligger også i kortene at alle produksjonsenheter og prosjekter som ikke gir ønsket avkastning skal settes under lupen og, dersom man ikke lykkes i å bedre lønnsomheten, avhendes. Macfarlane (2006) trekker fram revisjon og kvalitetssikring av produksjonsprosessen gjennom hele verdikjeden som en viktig oppgave i mineralressursforvaltningen.

Camus (2002) kritiserer gruveindustriens ensidig fokus på kostnadsreduksjoner i forsøk på å forbedre lønnsomheten, som, ifølge ham, fører til at metallprisene i markedet presses stadig lavere ned. Han slår fast at det ikke er noen direkte sammenheng mellom prosessens kostnader og dens verdiskapning, og både han og Macfarlane (2006) peker på behovet for nye økonomiske nøkkeltall som bedre beskriver verdiskapningen fra forekomsten. Disse vil ikke bli nærmere diskutert her, men det skal nevnes at beregning av disse alternative nøkkeltallene forutsetter at mineralforekomstens, dvs. malmreservens, verdi er kjent og bokført.

Implementeringen av MRM har ifølge Macfarlane (2006) ikke alltid gitt forventet effekt, men kun små forbedringer i planleggingsprosessen. Han peker på at mange selskap kun har implementert deler av MRM-konseptet. Mange har, ifølge ham, kun fokusert på korrekt estimering og rapportering av reserver og ressurser, og ikke på optimalisering av de strategiske planene og produksjonsprosessene.

7. MRM I DEN NORSKE MINERALINDUSTRIEN

I de internasjonale gruveselskapene var det behovet for integrasjon og samordning av store, komplekse organisasjoner som ledet fram til utviklingen av MRM-konseptet. Utviklingen av MRM i Norge ble derimot drevet av behovet for å fordele de mange oppgaver som måtte løses, på begrensede personalressurser i de små organisasjonene. Disse forskjellene har ført til at den norske mineralindustrien har organisert sine MRM-oppgaver på litt andre måter enn de store, internasjonale gruveselskapene.

Som tidligere nevnt tillater ikke de små marginene i industrimineral- og byggeråstoffbransjene at produsentene sitter med like store organisasjoner som de tradisjonelle bergverkene. En naturlig løsning er da at en og samme person må løse oppgaver som tidligere ble utført av flere ulike spesialister. I et mindre brudd kan man ofte ha kun en ingeniør/geolog som i tillegg til å lede driften også utfører planlegging, geologisk oppfølging og gruvemåling. I stedet for spesialister innen gruvemåling, bergmekanikk, geologi og gruveplanlegging trenger bedriftene altså en person som må kunne «litt om alt» og som utfører arbeidsoppgaver som krysser det som tidligere var organisatoriske eller faglige grenser.

Vi kan ikke forvente å finne de tverrfunksjonelle MRM-komiteene som Camus (2002) foreslår i våre små bedrifter. Noen selskap med drift på flere steder i Norge har enkeltpersoner som jobber opp mot alle selskapets gruver, og som har en rolle som kan sammenlignes med den MRM-sjef som Camus (2002) beskriver. En slik rolle finnes bl.a. i Norsk Mineral, Sibelco og Omya. Disse fagpersonene utfører både geologiske undersøkelser, tolkning og modellering av forekomsten, sikring av rettigheter, beregning av volum og gehalter, design av dagbrudd og produksjonsplanlegging. Rana Gruber har en mer tradisjonell planleggingsavdeling, men de har i tillegg etablert en tverrfunksjonell skiverasgruppe som behandler tekniske og bergmekaniske utfordringer i brytningen. I denne gruppa deltar eksterne eksperter sammen med bedriftens ansatte.

Det gode samarbeidsklimaet mellom avtalepartene i industrien i Norge, små forskjeller i status mellom personer på ulike nivå i organisasjonshierarkiet, kombinert med vårt høye utdanningsnivå, har gitt oss en fleksibel arbeidsstyrke. Denne fleksibiliteten lar den norske mineralindustrien hente ut potensialene i den teknologiske utviklingen, ved å flytte en del oppgaver som tidligere lå på funksjonærnivå ned på operatørnivået i organisasjonene.

Underjords kartlegging med totalstasjon kan utføres av en mann, i motsetning til tidligere da en trengte en hjelper til å holde prismet. En person ble frigjort til andre oppgaver og i noen tilfeller ble det gruvemåleren selv.

Maskinoperatørene overtar også gruvemålingsoppgaver. Vi får en geodet/topograf-situasjon hvor gruvemåleren etablerer fastpunktene mens boreren posisjonerer og orienterer boreriggen. Boreriggen kan være instrumentert slik at en etter en boret salve kjenner posisjonen til alle borehullene, og derved får grunnlaget til å generere et kart. Boring av dagbruddssalver styres i dag med GPS. Ved at salvens omriss eller posisjonen til hvert hull er kjent, foreligger kartdata.

Det er og var en gruvemålingsoppgave å forsyne gruveorganisasjonen med det nødvendige kartgrunnlaget, men denne oppgaven har endret karakter fra utskrift av papirkart til vedlikehold av en kartbase hvor brukerne henter de aktuelle horisontale og vertikale kartutsnitt.

Geologiske modeller bygges opp med stedfestede geologiske observasjoner. Gruvemåleren har tradisjonelt gitt gruvegeologen det geometriske grunnlaget, men nå er stedfesting vanligvis en integrert del av den geologiske kartleggingen.

Utviklingen av MRM i Norge foregikk i nært samarbeid mellom fagmiljøet på det daværende NTH og bransjen. Det var kort vei til beslutningstagerne i de norske selskapene; ekspertene på NTH kunne fange opp behovene i bransjen, fulgte den teknologiske utviklingen og testet ut nye ideer og applikasjoner i bedriftene.

Nielsen et al. (1984) beskriver hvordan bergverkene i Norge samarbeidet med NTH om forskning og utvikling i tekniske komiteer organisert gjennom bransjeorganisasjonen BVLI's forskningsavdeling. Utviklingsprosjektene var delvis finansiert med statlige forskningsmidler. Institutt for gruve drift ved NTH fikk i 1982 i oppdrag å bygge opp ekspertise på bruk av moderne, databaserte arbeidsmetoder i gruve drift, og skulle støtte bedriftene i implementeringen av den nye teknologien (Nielsen et al., 1984). På denne tiden var det fortsatt stort behov for utvikling av programvare tilpasset oppgavene i bergindustrien, og fagmiljøet ved NTH utviklet programvare for bl.a. gruvemåling, vifteboring og ladning, presentasjon av diamantborehull, geostatistikk, pallsprengning og produksjonsrapportering. Vifteprogrammet for konstruksjon av langhullsvifter høstet internasjonal oppmerksomhet fra bl.a. Anglo American.

En viktig industripartner i det tidlige utviklingsarbeidet var Grong Gruber som valgte å utvikle sitt eget, modulbaserte system (GROSYS) framfor å benytte Outokumpus programpakke (Ludvigsen, 1990). Systemet hadde funksjoner for gruvemåling, 3D- gruvekart, presentasjon av diamantborehull, geologisk modellering og malmberegning og vifteboring. Fokus var på utvikling og

integrasjon av programvare. Utviklingsarbeidet fortsatte i A/S Olivin der fokuset lå på kartlegging av kvalitetsvariasjoner i forekomsten og styring av brytningen. Samarbeidet med A/S Olivin resulterte i at instituttet ble involvert i et forprosjekt som senere resulterte i bransjeprogrammet IT-program for bergindustrien. IT-programmet var støttet av SND, forløperen til Innovasjon Norge, som gjennom programmet bidro til samarbeid på tvers av bransjer.

En forekomst må kontinuerlig utvikles. Et samarbeid over lang tid med Visnes Kalk og Marmorbrudd har gitt god innsikt i det arbeidet som må gjennomføres fra sikring av rettigheter og tillatelser til utvikling av nye produkter og markeder, en innsikt som har vært viktig for utvikling av MRM-konseptet. Gjennom Visnes kom instituttet i kontakt med Hustad Kalk og var med på utvikling av kalkressursene og styring av produktkvaliteten i Brønnøysund. Den seneste utviklingen ble gjort sammen med Rana Gruber for å bygge opp planer og rutiner i forbindelse med overgangen fra dagbruddsdrift til underjords skivepall- og etter hvert skiverasbryting.

I denne perioden ble det ved NTH etablert en gruppe med doktorstudenter som forsket på ulike deler av verdikjeden i mineralproduksjon. Etableringen av et slikt tverrfaglig forskerteam under samme veileder var revolusjonerende og helt i tråd med MRM filosofien, hvilket Haugen (1999) kommenterer i forordet til sin doktoravhandling: «...jeg vil anerkjenne hans (E. Ludvigsens) idé om å føre sammen ulike fagdisipliner og opprettholde en holistisk synsvinkel i våre forskningsprosjekter..., og hans innsats for å utvikle industriens ressursforvaltningsmetoder».

Avhandlingenes tema illustrerer gruppens fokus på integrasjon langs verdikjeden: Karlsen (1995) utførte geologiske og geofysiske studier av en talkforekomst. Osland (1998) modellerte variasjoner og estimerte kvalitetsfaktorer i en olivinforekomst. Haugen (1999) studerte operativ planlegging og styring av industrimineralproduksjon, og Watne (2001) studerte hvordan kvalitetsvariasjoner i en kalkforekomst påvirket produktkvaliteten og hvordan brytningen av forekomsten best kunne styres. Basert på samme konsept analyserte Ellefmo (2005) verdikjeden i en underjords jernmalmsgruve fra forekomst til ferdig produkt.

8. INTEGRERTE DATASYSTEM FOR MRM

Anglo American beskrev i 1987 et integrert datasystem med grafisk brukergrensesnitt som skulle dekke alle faser i forekomstens liv fra prospektering via full produksjon til avvikling av driften (Blaauw og Trevarthen, 1987). Anglo

Americans forventninger til det nye datasystemet var som følger: Bedre og mer nøyaktig informasjon om forekomsten. Bedre planlegging for å bestemme hvordan denne forekomsten kan utvinnes på beste måte. Bedre styring av kapital, personale, materiale og maskiner i utvinningen av forekomsten.

Et antall ønskede funksjoner eller moduler var definert for hver fase i mineralforekomstens liv: I forprosjektet så man behov for å samle geologiske data fra diamantboring og geofysikk og tolke og modellere geologien i 3D. Det var behov for geostatistiske estimeringsverktøy og muligheter for interaktiv identifisering av brytbare posisjoner og beregning av malmreserver, og man ville kunne gjøre «What-If»-analyser av lønnsomheten. Man forventet også at muligheten til å se en tredimensjonal modell av forekomsten fra alle mulige retninger ville være til hjelp når man skulle velge brytningsmetode. I forprosjektet ville man også ha nytte av programmets 3D funksjoner for å designe layout for brytningsrommene, daganleggene, oppredningsverket, oppfaring, sjakter og annen infrastruktur. Systemet skulle automatisk gi lengder og tonnasje for underjordsarbeidene. I produksjonsfasen ville det være behov for detaljert design av transportorter, tverrslag og styrtssjakter. Man ville her også trenge en funksjon for å modellere mer detaljerte geologiske strukturer, både for selve malmsonen men også forkastninger, sprekkeplan etc. En så også for seg å integrere funksjoner for ventilasjon, luft-vann-elektrisitet, bergmekanikk og materialhåndtering i systemet.

For gruveplanleggingen ønsket man funksjoner for geostatistisk analyse og grafisk presentasjon av resultatene. Man ønsket å kunne gjøre dynamiske oppdateringer av de beregnede malmreservene. Systemet skulle kunne lage tidsplaner med tider hentet fra designtegningene. Man så også for seg å gjøre ressursplanlegging og økonomisk evaluering i det samme grafiske miljø.

De planlagte funksjonene for produksjonsstyring omfattet gruvemålingsdata, analysedata fra prøvetaking, geologiske stoffkart og borhullslogger, stoffens posisjon eller inndrift, ventilasjonskart med luftstrømmer samt kart over posisjonene til utstyr, kabler, rør, skinnegang mm.

Anglo Americans visjoner slik de ble presentert på APCOM i 1987 var basert på Intergraphs IGPS (Interactive Graphics Design System) installert på Intergraphs spesialutviklede og svært kostbare arbeidsstasjoner, bare tilgjengelige for et fåtall gruveselskaper.

I Sverige brukte Boliden på denne tiden Intergraphs arbeidsstasjoner til gruveplanlegging. Det var herfra som fagmiljøet på NTH og bergindustrien i Norge fikk kjennskap til et program for dataassistert konstruksjon (DAK) ved navn MicroStation. Opprinnelsen til MicroStation var et PC-basert program som kunne

lese og redigere filer på Intergraphs filformat. MicroStation ble for Norsk og Svensk bergindustri en fellesnevner som ga grunnlaget for et nært samarbeid om utvikling av fagfeltet gruvemåling.

Et generelt DAK- program som Microstation har både styrker og svakheter sammenlignet med program som er spesialutviklet for et bestemt bruksområde; Det store antall brukere gjør at programmene er teknologisk avansert, har moderne og effektive brukergrensesnitt, kan løse varierte oppgaver og har gode rutiner for utveksling av data med andre programmer.

Den største ulempen er at det i begrenset grad fins spesialutviklede rutiner for typiske gruverelaterte oppgaver. Brukerteskelen blir derfor høy ved at en selv må forstå det bergfaglige grunnlaget og selv finne ut hvordan en oppgave skal løses. Til sammenligning har mange spesialutviklede applikasjoner en forhåndsbestemt arbeidsflyt og mer automatiserte rutiner.

Det finnes i dag et stort antall spesialiserte programmer tilpasset oppgavene i gruveindustrien, f.eks. Gems, Datamine og Surpac. Noen av disse systemene er svært omfattende, med det er enda et stykke igjen før den funksjonalitet Anglo American så for seg i 1987 er tilgjengelig.

Bentley, firmaet som utvikler MicroStation, er nå i ferd med å utvikle en «Minerals and Metals Solution» som integrerer de fleste MRM-funksjonene. Denne løsningen er foreløpig spesielt tilpasset spesifikke forhold i Sør-Afrikas gullgruver.

9. MRM I BERGINGENIØRSTUDIET

Det er en ting å integrere alle MRM- funksjonene i et datasystem, det er noe ganske annet å integrere alle disse ferdighetene og kunnskapene i hodet på én enkelt person.

Dagens Bergingeniørstudium ved NTNU er tilpasset behovet i den moderne, norske mineralindustrien og skal forberede studentene til de oppgaver de møter i virkeligheten.

Det nye navnet; Studieretning for Mineralproduksjon og teknisk ressursgeologi, understreker at studiet er integrert langs verdikjeden. Studentene lærer både geologi, gruve drift, bergmekanikk, gruvemåling, oppredning, miljø, helse og sikkerhet. Det undervises to tverrfunksjonelle MRM-emner som omfatter: Gruvemåling, Gruvegeologi, Gruveevaluering, Gruvedesign og Gruveplanlegging. Tyngdepunktet ligger her på 3D-modellering av forekomstets geometri og kvalimetri (f.eks. gehalter og tonnasje) samt design av dagbrudd og

underjordsarbeider. Undervisningen omhandler også planprosessen knyttet til reguleringsplaner og driftskonsesjon, samt nødvendige tillatelser fra forurensningsmyndighetene. Teknisk-økonomisk evaluering og optimalisering behandles i videregående kurs i gruvedrift.

I sin presentasjon av Anglo Americans første integrerte MRM-system understreker Blaauw og Trevarthen (1987) at nesten alle typer data som benyttes i mineralressursforvaltningen er stedfestede og av natur grafiske og tredimensjonale, slik at gruvemålerens kart utgjør fundamentet som alle andre funksjoner knytter sine data opp mot.

Det er derfor ikke unaturlig at det ved NTH/NTNU var gruvemålingsfaget som etter hvert ble utviklet til å omfatte det langt bredere fagområdet Mineralressursforvaltning. Etter hvert som det å skaffe koordinater og lage kart krever stadig mindre ferdighetene, har undervisningen blitt endret slik at den i dag fokuserer mer på innhold. En diplomoppgave fra 1972 illustrerte betydningen av korrekte malmberegninger, og forfatteren av oppgaven ble to år senere bedt om å undervise et avsnitt om malmberegning i gruvedriftfaget ved NTH. Etter hvert ble dette utviklet til et eget emne i geostatistiske estimeringsmetoder. Gruvemålingskurset ble utviklet til et emne i geografiske informasjonssystemer. I dag erstattes disse to emnene av et grunnkurs og et videregående kurs i mineralressursforvaltning .

Den integrasjon av studiet langs verdikjeden som NTNU tilbyr er relativt unik, men vi finner et lignende eksempel ved Witwatersrand Universitet i Sør-Afrika. Deres 4-årige studieprogram (wits.ac.za) dekker også hele verdikjeden og studentene lærer både geologi, forekomstmodellering, forekomstevaluering, gruvevedesign, gruvedrift, oppredning, HMS og ledelse.

I tillegg tilbyr dette universitetet et 2-årig etterutdanningsprogram i mineralressursforvaltning (wits-enterprise.co.za). Det består av 9 valgbare moduler og undervises som intensivkurs med 1 uke per modul. Studiet avsluttes med en prosjektrapport i form av en mulighetsstudie. Studentene velger moduler fra en liste med følgende 17 tema: 1) Introduksjon til mineralressursforvaltning, 2) Gruvemålerens rolle i verdikjeden, 3) Forekomstevaluerers rolle i verdikjeden, 4) Introduksjon til statistisk evaluering av mineralforekomster, 5) Modellering av forekomstgeologi, 6) Grunnleggende gruvevedesign, 7) Økonomisk vurdering og optimalisering, 8) «Mine to Mill»-optimalisering og -styring, 9) Brytningsmetoder, 11) Forretningsplanlegging, 12) Planlegging og styring av gruveprosjekter, 13) Introduksjon til MRM systemer og applikasjoner, 14) Introduksjon til geostatistiske metoder for forekomstevaluering, 15) Prøvetakingsteori og -metoder, 16) Tekniske- og juridiske krav til gruveplanlegging, 17) Optimalisering og

planlegging av dagbrudd, 18) Optimalisering og planlegging av underjordsgruver. Modulene er også tilgjengelige som frittstående kurs.

10. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Det nære samarbeidet mellom universitetsmiljøet og bransjen har vært en forutsetning for utviklingen både av MRM i bergindustrien i Norge og av undervisningen i Mineralproduksjon ved NTNU. Osland (1998) siterer i sin doktoravhandling V. Aubert: «En farlig situasjon oppstår dersom et vitenskapelig fagfelt ikke får det meste av sin input angående problemene i verden utenfra fra kilder utenfor forskningsmiljøet».

De små organisasjonene i den norske bergindustrien gjør at bransjen her til lands har mindre problemer med avdelingsvis suboptimering enn i mange andre land. Samtidig legger svært slanke staber sterke begrensninger både på hvor mange oppgaver som kan gjennomføres og på hvor grundig disse kan utføres. Mineralressursforvaltningen i Norge har utviklingspotensialer både når det gjelder å ta fram gode modeller av forekomsten med dennes kvalitetsvariasjoner, å beregne forekomstens økonomiske verdi og å optimalisere planer og prosesser.

MRM-filosofien er implementert i bergingeniørutdanningen ved NTNU, og integrasjon langs verdikjeden og tverrfaglighet er prioritert. Våre sivilingeniører vil derfor kanskje ikke ha samme spisskompetanse som de som kommer fra mer spesialiserte studier, men de vil være godt egnet til å arbeide med bergindustriens tverrfaglig problemstillinger.

REFERANSER

Blaauw, F.J.J. og Trevarthen, N.C.D., 1987: Mineral Resource Management: An overview of an Integrated Graphics Based System. Presentasjon på APCOM 1987, i Volume 1: Mining. SAIMM, Johannesburg, Sør-Afrika. Side 255-264.

Camus, J., 2002: Management of Mineral Resources - Creating Value in the Mining Business. Littleton, CO, USA: Society for Mining Metallurgy and Exploration. ProQuest ebrary. Nedlastet 02.06.15.

Daumas, M., 1989: Scientific Instruments of the Seventeenth and Eighteenth Centuries and Their Makers. Portman Books, London.

Ellefmo, S. L., 2005: A probabilistic approach to the value chain of underground iron ore mining, From deposit to product. Doktoravhandling, NTNU.

Ensor, P., 1988: The Functional Silo Syndrome. AME Target: 16.

- Hartman, H.L. og Mutmanský, J.M., 2002: Introductory Mining Engineering. John Wiley and sons, New Jersey.
- Haugen, S., 1999: Optimal planning and control of industrial minerals extraction, A Process Analysis Approach to improvement. Doktoringeniør avhandling, NTNU.
- Karlsen, T. A., 1995: Geological and geophysical studies of ultramafite Associated Talc Deposits, Altermark, Northern Norway. Doktoringeniør avhandling, NTH.
- Liker, J. K., 2004: The Toyota Way. Liber.
- Ludvigsen, E.S., 1990: Information technology in small scale mining. Presentasjon på APCOM 1990, Berlin.
- Macfarlane, A.S., 2006: Establishing a new metric for mineral resource management. SAJMM Journal, Volum 106, mars 2006, side 187-198.
- Neeb, P.-R., et al., 2014: Mineralressurser i Norge 2013. Mineralstatistikk og bergindustriberetning. NGU Publikasjon 1/2014.
- Nielsen, K., Ludvigsen, E., Gustafson, S., 1984: Use of computers for engineering purposes in the Norwegian mining industry. Presentasjon på APCOM 1984, London.
- Osland, R., 1998: Modelling of variations in Norwegian olivine deposits, Cause of variation and estimation of key quality factors. Doktoringeniør avhandling, NTNU.
- Porter, M.E., 1985: Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. The Free Press
- Rummler, G. A. og Brache, A. P.: 1995: Improving Performance: How to Manage the White Space in the Organization Chart. Jossey Bass Business and Management Series. Jossey-Bass.
- Smith, J. R., 1998: The history of Geodimeter. pdf nedlastet fra trimtec.se, 03.06.15
- Sturman, B. og Wright, A., 2008: Integrating the Generations. Presentasjon på FIG Working Week 2008, Stockholm.
- Van Wageningen, A., Andersson, M. og Nyström, K., 2009: Drill Rig Navigation and Drill Plan Creation Using IREDES. Presentasjon på APCOM 2009, i ICM Conferences & Exhibitions Papers, Toronto. Side 190-195.
- Watne, T. A. K., 2001: Geological variations in marble deposits, Implications for the mining of raw material for ground calcium carbonate slurry products. Doktoringeniør avhandling, NTNU.
- Womack, P., Jones, D. T. og Roos, D., 1990: The Machine that Changed the World. Rawson Associates, New York.
- Kartverket.no: Kartverkets Historie-side. Besøkt 03.06.15.
- wits.ac.za: Wits mining – undergraduate program. Universitetet i Witwatersrand, Sør-Afrika. Besøkt 02.06.15.
- wits-enterprise.co.za: Certificate Programme in Mineral Resource Management (MRM). Universitetet i Witwatersrand, Sør-Afrika. Besøkt 02.06.15.
- ualr.edu: History of mathematics pages. University of Arkansas at Little Rock, USA. Besøkt 02.06.15.

jktech.com.au: brosjyre om JKTech Mining Consulting og Mine-to-Mill® Process Optimisation.
Besøkt 02.06.15.