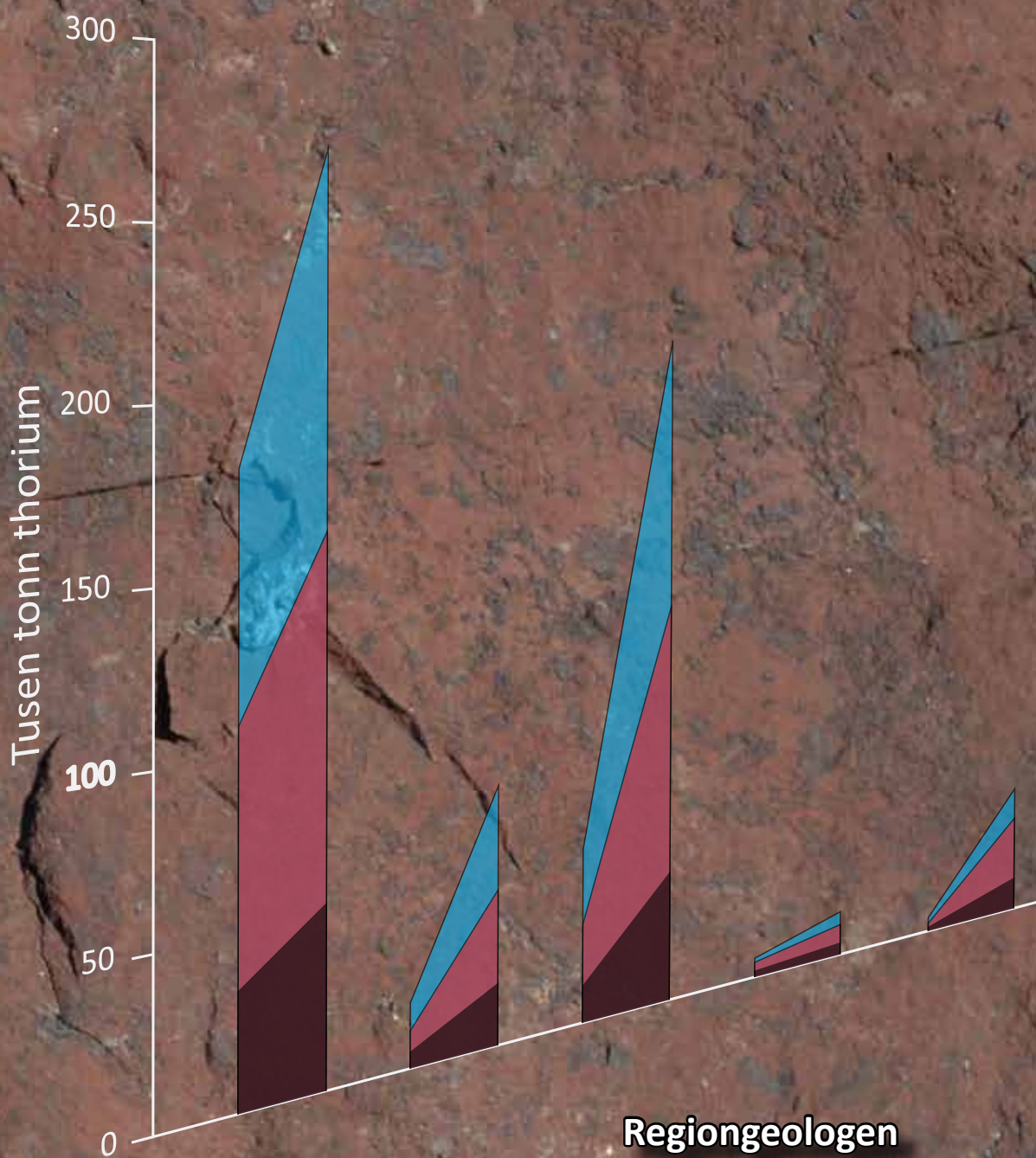




# Thorium i Fensfeltet- Ressursanslag

Regiongeolog  
Sven Dahlgren

**Regiongeologen**  
**Buskerud Telemark Vestfold Fylkeskommuner**



Regiongeologen  
Rapport nr 1-2012

**RAPPORT 1, 2012  
REGIONGEOLOGEN  
BUSKERUD TELEMARK VESTFOLD FYLKESKOMMUNER**

Dato: 20. februar 2012.

Produksjon:

Tekst, illustrasjoner og foto: S. Dahlgren

Design til trykkeklar pdf: S. Dahlgren

Trykk: Pica AS, Tønsberg

Utgitt av:

Regiongeologen

Buskerud, Telemark og Vestfold fylkeskommuner

Kontaktadresse:

Fylkeshuset, Svend Foynsgt 9, 3126 Tønsberg

Telefoner:

Sentralbord 333 44 000

Mobil 9069 2752

e-post:

svend@vfk.no

eller

sven.dahlgren@online.no

Forsidefoto: Rødberg, Gruveåsen, Fensfeltet.

## THORIUM I FENSFELTET - RESSURSANSLAG

### INNHold

|   |    |
|---|----|
| Forord  | 4  |
| Målsetning  | 4  |
| Sammendrag  | 5  |
| Fensfeltet - Geologiske hovedtrekk relevante for thoriumressursanslag | 6  |
| Thoriumrike bergarter på Fensfeltet                                   | 7  |
| Gammastråling fra thorium på Fensfeltet                               | 8  |
| Geologiske ressurser og reserver - Definisjonsgrunnlag                | 9  |
| Thorium på Fensfeltet - Områdeinndeling                               | 10 |
| Datagrunnlag for thoriumressursanslag                                 | 11 |
| Område 1: Gruveåsen   | 12 |
| Område 2: Fen syd   | 13 |
| Område 3: Øygarden  | 14 |
| Område 4: Vibeto  | 15 |
| Område 5: Fensmyra  | 16 |
| Område 6: Fenbukta  | 17 |
| Vurderinger av thoriumressursanslagene                                | 18 |
| Totale thoriumressurser på Fensfeltet                                 | 19 |
| Sammenlikning med forekomster andre steder i verden                   | 19 |
| Konklusjon og anbefalinger  | 20 |
| Fensfeltet - Berggrunnsgeologisk kart Anno 1921 og Anno 2012          | 21 |
| Referanser  | 22 |
| Tabell over thoriumressursanslag                                      | 23 |

## FORORD

For noen år siden sto thorium sentralt i diskusjonen om framtidens energikilder. Regjeringen nedsatte en komitee for å vurdere bruk av norsk thorium og komiteen kom med sin rapport i 2008. Siden det var kjent at Norges største og en av verdens største thoriumressurser ligger i Fensfeltet i Telemark ønsket fylkesutvalget i Telemark fylkeskommune en rapport fra regiongeologen med vurdering av disse forekomstene. Den rapporten ble presentert for fylkesutvalget to dager før thoriumutvalgets rapport kom ut. I rapporten til fylkesutvalget foreslo regiongeologen flere deltema som burde følges opp. Dette fikk full tilslutning i fylkesutvalget. Thoriumdiskusjonen i Norge er nokså stille nå, men internasjonalt har thorium en god del oppmerksomhet.

For tiden avslutter en gruppe, kalt "Thorium Think Tank", bestående av kjernefysikere, kjernefysikere og undertegnede, et arbeid om thorium støttet av "Oslofjordfondet". I denne forbindelse var det nødvendig å ha mer inngående anslag av de egentlige thoriumressursene på Fensfeltet. Det er dette anslaget som meddeles i denne rapporten. Det er viktig at så mye som mulig av grunnlaget for anslagene dokumenteres. Siden dette er ganske mye data var det ikke aktuelt å inkludere dette i arbeidsgruppas rapport. Thoriumressursanslaget dokumenteres derfor i denne rapporten som et separat dokument.

For å utføre thoriumressursanslagene var jeg avhengig av å få tilgang til alle thoriumanalyser som finnes fra Fensfeltet, og jeg har møtt stor velvilje fra de to selskapene som for tiden undersøker REE på Fensfeltet:

- Fen Minerals ved D. Cappelen, E. Stokken og B. Bergfald.
  - REE Minerals ved R. Vigdal og deres geokonsulent 21<sup>st</sup> North, C. Østergaard.
- Uten deres velvilje til å dele analysedata ville denne rapporten ikke kunne ha blitt laget.

Jeg vil også takke Direktoratet for mineralforvaltning og biblioteket ved Norges geologiske undersøkelse som gjorde gamle rapporter tilgjengelige for meg. Tom Heldal, Norge geologiske undersøkelse takkes for å ha kvalitetssjekket denne rapporten. Ansvaret for eventuelle feil er imidlertid mitt.

Til slutt vil jeg også takke medlemmene av "Thorium Think Tank" for mange interessante og inspirerende diskusjoner og opplysninger.

Tønsberg, 20.2.2012

Sven Dahlgren

Regiongeolog

Buskerud Telemark Vestfold fylkeskommuner

## MÅLSETNING

US Geological Survey (USGS) og IAEA har tidligere listet opp Norge, d.v.s. Fensfeltet, som en av verdens største thoriumreserver. USGS har operert med 170.000 til 180.000 tonn, mens IAEA har operert med 132.000 tonn. Disse tallene er flittig blitt referert i ulike sammenhenger, også av thoriumutvalget i 2008.

Jeg har forsøkt å finne ut av hva som er fakta bak anslagene til USGS og IAEA uten å ha lyktes i det. Det har til nå ikke vært noen offentlig tilgjengelig dokumentasjon om Fensfeltets thoriumressurser, bare tilsynelatende løst funderte estimater.

I den siste globale thoriumressursvurderingen fra USGS (USGS 2012) er Norge og Fensfeltet strøket fra lista over verdens thoriumreserver, mens enkelte andre land har fått oppgradert sine reserver. Det kan skyldes at andre land siden 2008 har gjort mere inngående geologiske studier av sine forekomster enn det vi har gjort, og dessuten det faktum at det er en teknologisk utfordring å utvinne thorium fra Fensfeltet i industriell skala.

Denne rapporten har som mål å kritisk vurdere alle tilgjengelige geologiske og kjemiske data om thorium i Fensfeltet for å dokumentere disse ressursene bedre. Dette er en oppfølging av et av delpunktene i anbefalingen fra regiongeologen til fylkesutvalget i Telemark fylkeskommune i 2008.



## THORIUM I FENSFELTET - RESSURSANSLAG

### SAMMENDRAG

I denne rapporten er Fensfeltets samlede thoriumressurser anslått. De befinner seg i den østlige halvdel av Fensfeltet i bergartene rødberg og ankerittkarbonatitt.

Anslagene er gjort separat for flere delområder av Fensfeltet da det er stor variasjon i geologiske forhold, geologisk kunnskap om områdene og dessuten nokså variabelt thoriuminnhold i liknende bergarter fra delområde til delområdene.

For hvert område er det anslått thoriumressurser forutsatt at de fortsetter som på overflaten og henholdsvis 100, 300 og 500 meter ned i bakken. Det er geologisk sett ikke usannsynlig at ressursene fortsetter ned til 500 meters dyp eller enda mer. For hvert område er det gjort et antatt lavt og et antatt høyt anslag for hvert dyp.

Gruveåsen har åpenbart de største thoriumressursene. Et lavt anslag for uttak til bare 100 meters dyp på Gruveåsen gir ca 36.000 tonn thorium, mens et høyt anslag som forutsetter uttak til 500 meters dyp gir thoriumressurser på ca 270.000 tonn.

Etter Gruveåsen er det området kalt Øygarden som har de største ressursene. Fen syd har et visst tilleggspotensial, mens Fensmyra og Fenbukta er jokere som kan ha betydelige thoriumressurser, men som hittil ikke er undersøkt overhode. Vibeto-området er sannsynligvis uinteressant mht thoriumressurser. En liten, men mulig interessant ressurs, både for thorium og REE (sjeldne jordartsmetaller), er avgangsedimentene fra de gamle jerngruvene i Fenbukta.

Selv de minste thoriumressursanslagene for Fensfeltet er betydelige i verdenssammenheng. Er de høyeste totalanslagene korrekte, ca 675.000 tonn, så ligger thoriumressursene på Fensfeltet i verdenstoppen.

Fensfeltets thoriumressurser må foreløpig oppfattes som kjente subøkonomiske ressurser og hypotetiske ressurser.

Et eventuelt uttak av thorium fra Fensfeltet MÅ sees i sammenheng med uttak av REE (sjeldne jordartsmetaller). De samme bergartene som inneholder betydelige mengder thorium inneholder enda mer REE. Interessen for utvinning av REE fra bergartene på Fensfeltet ligger nok tidsmessig langt foran uttak av thorium. Men ekstraksjon av REE fra disse bergartene må også forholde seg til thorium i de samme malmene. Derfor bør uttak av REE også ha en langsiktig strategi for uttak av thorium.

Det er langt igjen til at vi har data nok for å kunne lage sikre ressursberegninger for thorium, og REE, for Fensfeltet. Vi mangler helt grunnleggende data som et tidsmessig, detaljert geologisk kart over området. En skikkelig geologisk kartlegging av området supplert med kjerneboringer, kjemiske analyser og andre målinger bør være et prioritert offentlig, langsiktig prosjekt, gjerne i samarbeid med private selskaper.

Det er for tiden liten interesse for thorium på Fensfeltet blant selskapene som arbeider med REE der. Fensfeltet har imidlertid potensielt så viktige framtidsressurser for Norge sett i en global sammenheng at det er på høy tid å intensivere forsknings- og undersøkelsesvirksomheten rundt Fensfeltets ressurser.

## FENSFELTET - GEOLOGISKE HOVEDTREKK RELEVANTE FOR THORIUMRESSURANSLAG

Fensfeltet ble dannet ved vulkanisme for 580 millioner år siden. Magmaene som strømmet ut på overflaten som lavaer og vulkanske askeavsetninger bygget den gangen opp en vulkan, men denne vulkanen er nå fullstendig erodert bort. De magmaene som aldri nådde opp til overflaten krystalliserte imidlertid til ulike bergarter på dypt under vulkanen, og det Fensfeltet vi ser nå er et erosjonstverrsnitt av dette tilførselssystemet til vulkanen (Se kart figur 1).

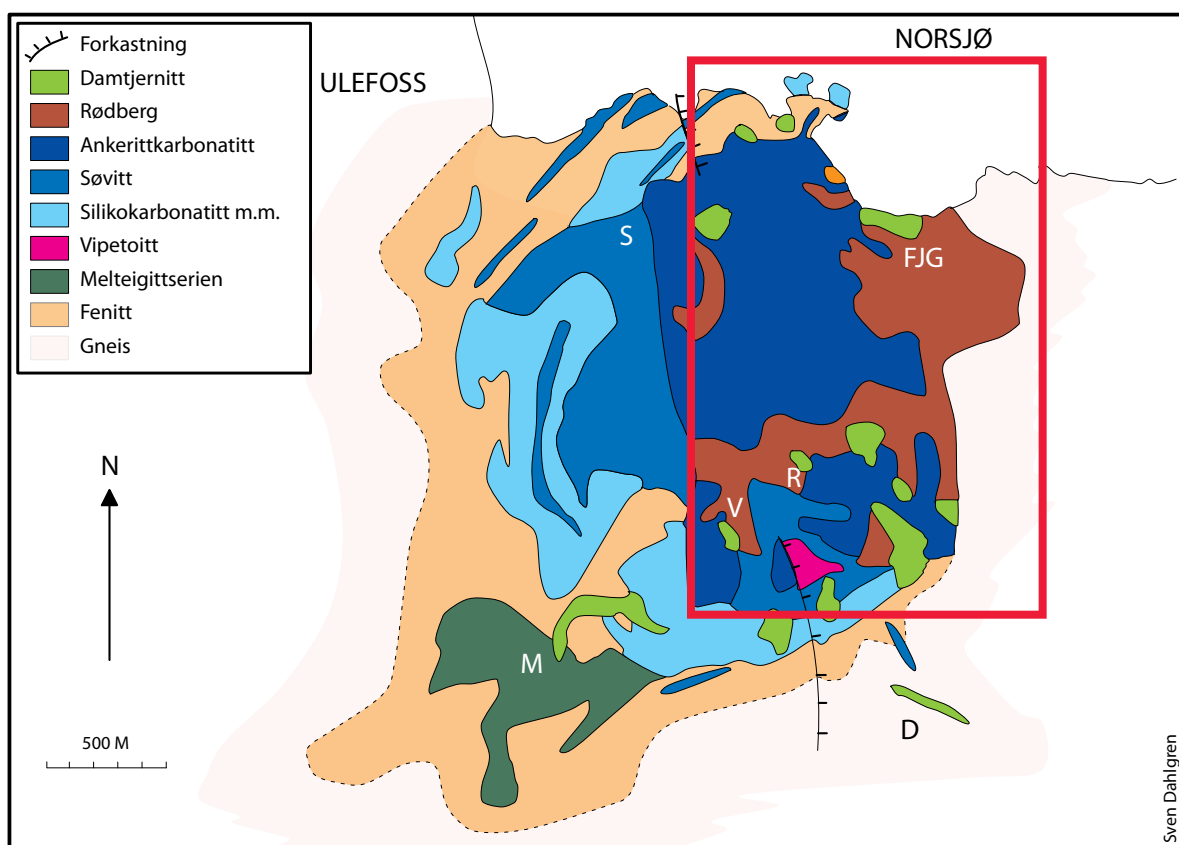
Bergartene i Fensfeltet er ikke som normale bergarter dannet ved "vanlig" vulkanisme. Karakteristisk for Fensfeltet er at magmaene var karbonatrike og de krystalliserte til kalksteiner som vi kaller karbonatitter.

Magmaene som ble til karbonatitter og andre bergarter i Fensfeltet ble opprinnelig dannet nede i mantelen, minst 80 km under det som var jordoverflaten på tiden Fenvulkanen var aktiv. Det erosjonstverrsnittet vi ser i Fensfeltet i dag lå trolig ikke så dypt under vulkanen, - en kilometer kanskje?

Magmaene, for det var mange små pulser med magma som

trengte seg opp etter tur, fulgte mer eller mindre samme rørformede kanal fra mantelen mot overflaten. Hver magmapuls kunne være så liten at vi i dag finner "frosne magmaganger" som bare er fra en til noen få cm tykke. Andre pulser var mye større og enkelte førte til kraftige vulkanske eksplosjoner og laget magmatiske breksjer da de nærmet seg overflaten. Magmaene i Fenvulkanen førte med seg mange gasser og væsker. Da magmaene krystalliserte på dypt forsvant disse gassene og væskene, som var kjemisk veldig reaktive, ut på sprekker i sidebergartene og omvandlet disse.

Typisk for Fensfeltet er at det er myriader av ganger og magmatiske breksjer som skjærer hverandre på kryss og tvers nesten uansett hvor du ser hen. I tillegg er mange av disse blitt omvandlet av varme gasser og væsker som kom etterpå. Summen av alt dette er at Fensfeltet er geologisk svært komplekst. En annen følge er at vi har fått dannet uvanlige bergarter, med uvanlige konsentrasjoner av uvanlige grunnstoffer og uvanlige mineraler. Ett av disse grunnstoffene er thorium.



**Figur 1. Geologisk kart over Fensfeltet.**

Fensfeltet består av mange uvanlige bergarter som for første gang ble beskrevet her (Brøgger 1921) og gitt navn etter stedene de ble funnet: M, Melteig funnsted for melteigitt; S, Søve, funnsted for søvitt; V, Vipeto, funnsted for vipetoitt; R, Rauhaug, funnsted for rauhaugitt (nå kalt ankerittkarbonatitt) og D, Damtjern, funnsted for damtjernitt. FJG = Fen Jerngruver. Kartet viser berggrunnen i svært grove trekk slik vi tror det er. I realiteten er feltet svært overdekket med løsmasser og kartet er et tolkningskart som mange steder baserer seg på ytterst få data eller bare "intelligente" gjetninger. Den røde rammen viser området som blir vurdert i denne rapporten.

## THORIUMRIKE BERGARTER PÅ FENSFELTET

Bergartene i Fensfeltet som har høyt thoriuminnhold er ankerittkarbonatitt ("rauhaugitt") og rødberg. Av kartet figur 1, ser vi at ankerittkarbonatitt (mørk blå farge på kartet) dekker store arealer i den østlige delen av Fensfeltet, Vi ser også at rødberget (med burgunder farge på kartet) dekker store arealer i dette området.

Ankerittkarbonatittene har ofte breksjestructur. Det tyder på at magmaene hadde oppløst væsker og gasser, blant annet en god del vann, som ekspanderte kraftig slik at det "eksplooderte" da magmaet nærmet seg jordoverflaten og eksplosjonsbrekksjer ble dannet. Ankerittkarbonatittene forvitrer lett, og siden ankeritt er et jernkarbonatmineral, blir bergarten "rusten", gulbrun på overflaten. Ankerittkarbonatittene inneholder ganske betydelige mengder mineraler som inneholder sjeldne jordartsmetaller (REE). I tillegg er de radioaktive fordi thoriuminnholdet vanligvis er høyt.

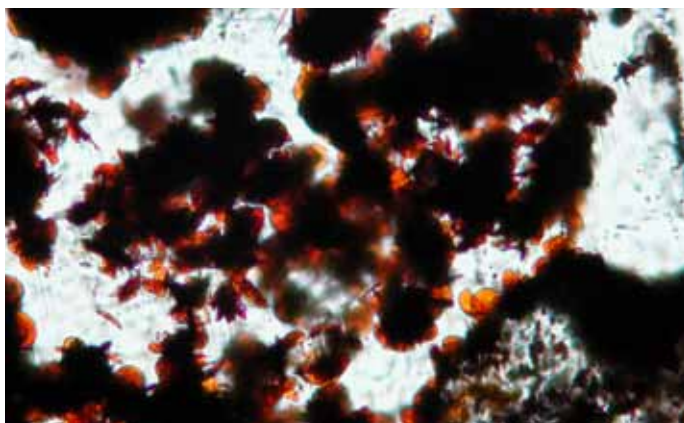


Figur 2. Brunvitret overflate av ankerittkarbonatitt ("rauhaugitt").

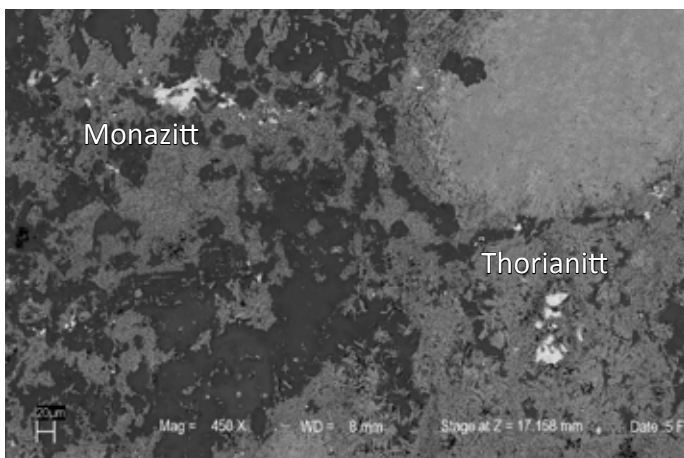
Rødberget har fått sitt navn etter den karakteristiske røde fargen. Rødfargen skyldes innholdet av jernoksidet hematitt. Rødberget ble dannet da varme, vannholdige løsninger sirkulerte gjennom ankerittkarbonatitter og andre bergarter mot slutten av Fenvulkanens liv. Dette vannet transporterte vekk lettløselige deler av bergartene, mens jern, thorium og REE ble værende igjen (Andersen 1987). Thorium forekommer blant annet i mineralene thoritt og thorianitt.



Figur 3. Rødberg i veiskjæring i Lensmannssvingane ved riksveien vest for Fensmyra.



Figur 4. Røde krystaller av hematitt, jernoksid, (mindre enn 1/10 millimeter store) sett i tynnslip i polarisasjonsmikroskop i rødberg fra Gruveåsen. Det er disse røde kornene som gir rødfargen til rødberget. De svarte kornene er litt tykke hematittkorn som lyset ikke trenger gjennom.



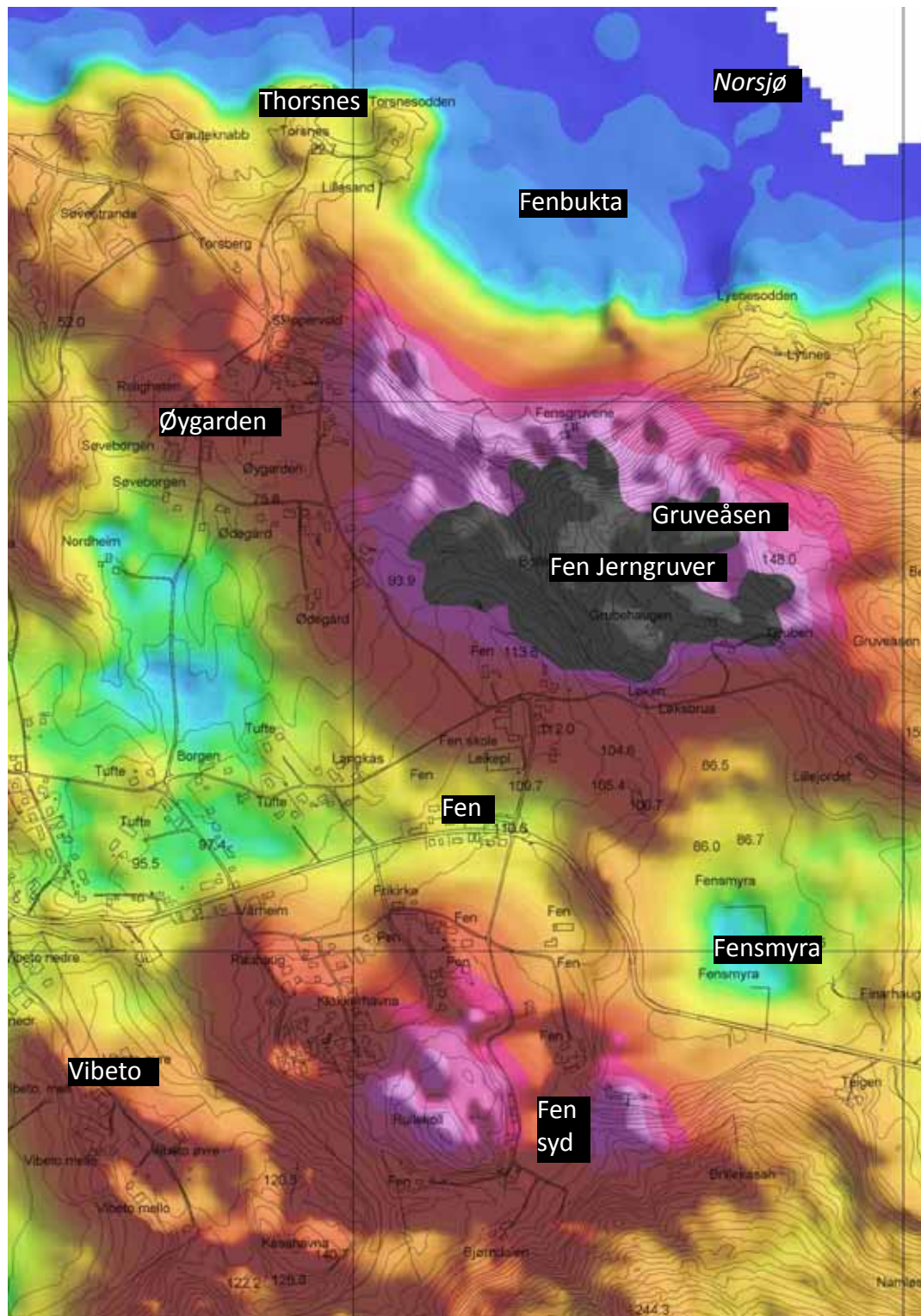
Figur 5. Thorium- og REE-mineraler i rødberg fra Gruveåsen sett i elektronmikroskop. Det lyse området nede til høyre er thorianitt (et mineral som består av thoriumoksid). Det langstrakte "toget" med lyse flekker oppe til venstre er mineralet monazitt som inneholder sjeldne jordartsmetaller (REE). Legg merke til skalaen nede til venstre; den er på 20 mikron (20/1000 millimeter). Dette er typisk for størrelsen på både thorium- og REE-mineralene på Fensfeltet, og det er dette som gjør ekstraksjon av både thorium og REE til en teknologisk utfordring.



## GAMMASTRÅLING FRA THORIUM PÅ FENSFELTET

Gammastråling dannes ved radioaktiv nedbrytning av thorium. Gammastrålingen kan måles med Geigerteller, eller med et mer fintfølende instrument, scintillasjonsteller. Det første kartet over gammastrålingen på Fensfeltet ble laget i 1983 (Dahlgren 1983). Det viste at gammastrålingsnivået var svært høyt over Gruveåsen, mens strålingen var en god del

mindre i området Rullekoll-Vipeto. Det ble også vist at gammastrålenivået ble drastisk redusert ved at det bare var noen få decimeter med leire og silt over berggrunnen. Gammastrålingsskart aleine kan derfor ikke vise fullt ut hvor vi har thoriumrike bergarter. Kartet viser bare hvor slike bergarter finnes helt oppe i dagen uten løsmasseoverdekke.



Figur 6. Gammastrålingskart over den østre delen av Fensfeltet. Kartet viser gammastråling fra thorium og er målt av NGU med helikopter (NGU 2006; Gammastrålingskart Thorium, Fensfeltet). Svart farge over Gruveåsen viser det høyeste strålenivået, lilla og røde farger viser noe lavere strålenivå. Områdene med blått og grønt har svært lave strålenivåer.

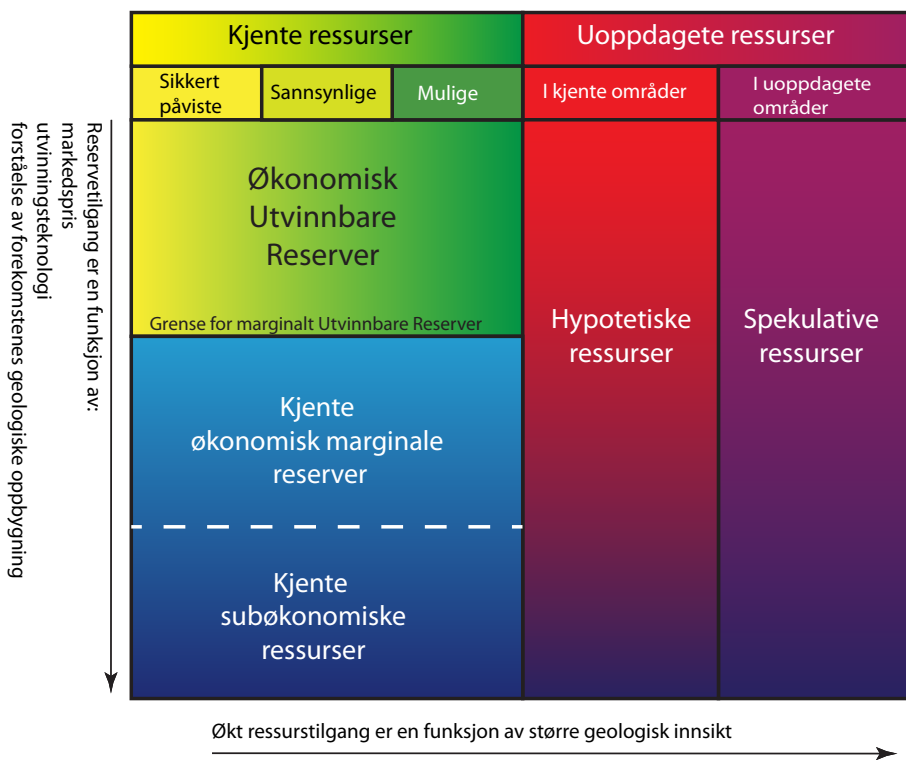


# GEOLOGISKE RESSURSER OG RESERVER - DEFINISJONSGRUNNLAG

## Ressurs- / reserveklassifisering for mineralforekomster

I Norge, norden og Europa foregår for tiden en debatt om definisjon av begrepene ressurs og reserver. Foreløpig er det ikke noen vedtatt konsensus, og i denne rapporten brukes tradisjonelle definisjoner tilnærmet slik de brukes av US

Geological Survey (USGS 1980, Appendix C). Begrepene som brukes i denne rapporten er definert nedenfor slik at det ikke skal være noen tvil om hva som menes i den følgende diskusjonen (se også figur 7).



Figur 7. Skjematisk oversikt over klassifisering av kjente og uopdagete ressurs, samt ressurser versus reserver. Se teksten for forklaring.

## Ressurs

En ressurs er en naturlig forekommende geologisk avsetning i jordskorpa som har en slik form og har en slik konsentrasjon av et aktuelt mineral / grunnstoff at økonomisk utvinning er mulig i dag eller potensielt mulig på sikt.

## Reserve

En reserve er en spesifikk del av av en kjent ressurs som er økonomisk og praktisk utvinnbar i dag, eller på kort sikt, uten at forekomsten nødvendigvis trenger å være i drift foreløpig.

Reservene deles inn i: Sikkert påviste, sannsynlige og mulige alt etter hvor god geologisk innsikt en har over volumene i ulike deler av forekomsten (se figur 7). Som reserver regnes også deler av forekomstenes volum som er økonomisk marginale. Grensen mellom økonomisk utvinnbare reserver og kjente økonomisk marginale reserver, samt grensen mellom kjente økonomisk marginale reserver og kjente subøkonomiske ressurser vil variere som en funksjon av geologisk innsikt i forekomsten, varierende markedspris og utvikling av teknologi for utvinning. Se figur 7.

## Uopdagete ressurs

I ressursundersøkelser er det vanlig å operere med to hovedgrupper uopdagete ressurs: Hypotetiske og spekulative ressurser. Som det framgår av navnene er det en økende grad av usikkerhet rundt disse.

*Hypotetiske ressurser* er uopppdagete ressurs i en geologisk hittil ikke undersøkt avsetning som likner på en annen kjent, geologisk avsetning i nærheten hvor ressurser allerede er oppdaget. En antar da at det er gode muligheter for at samme type geologisk prosess har forekommet de to stedene og at ressurser også finnes i den avsetningen som ikke er undersøkt enda.

*Spekulative ressurser* er uopdagete ressurs i et område som er lite undersøkt, men som har en geologisk utviklingshistorie og dannelsesmiljø som likner den som finnes i et annet område og hvor ressurser er påvist. Som spekulative ressurser regnes også uopdagete ressurs som kan komme til å bli funnet i geologiske miljøer hvor vi foreløpig ikke har oppdaget at interessante mineraler forekommer.

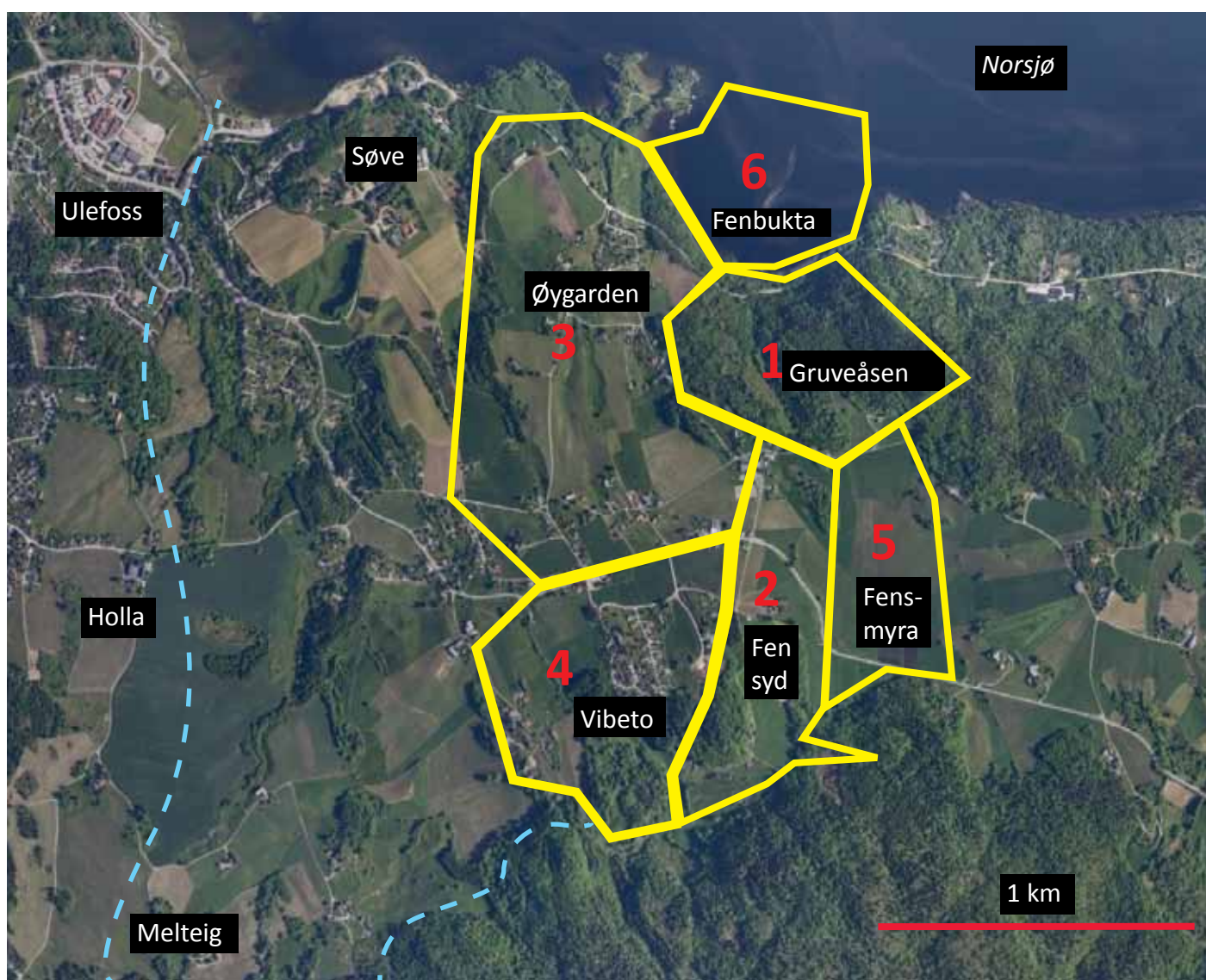
## THORIUM PÅ FENSFELTET - OMRÅDEINDELING

Det er to bergarter som er interessante for vurdering av thoriumressurser på Fensfeltet:

- Rødberg
- Ankerittkarbonatitt i breksje eller massiv form ("rauhaugitt").

Disse bergartene forekommer i den østlige halvdel av Fensfeltet, og det er der det har noen mening i å vurdere forekomsten av thoriumressurser. Ressursanslagene vil også variere internt mellom de ulike delene av det østlige Fensfeltet, og de følgende anslagene er utført for ulike delområder. Se figur 8 for områdeinndeling.

Den vestlige delen av Fensfeltet er mindre interessant mht thoriumressurser. I dette området er det for det meste silikokarbonatitter, alkaline silikatbergarter (melteigitter etc) og ulike varianter av søvitt. Disse bergartene har ikke noe spesielt stort thoriuminnhold. Søvittvariantene som inneholder niobmineralet pyroklor inneholder riktignok en del thorium siden thorium inngår som en underordnet bestanddel av pyroklor. Det kan derfor naturligvis tenkes at thorium kan bli et biprodukt dersom det skulle bli gruvedrift etter niob i den vestlige delen av feltet en gang i framtida. Pyroklorinnholdet i søvittene er imidlertid svært lavt og søvittene ansees derfor ikke som noen viktig thoriumressurs sammenliknet med forekomstene i den østlige delen av Fensfeltet.



Figur 8. Områdeinndelingen som er brukt for anslag av thoriumressurser. Områdene i Fensfeltet er kalt:

1. Gruveåsen, 2. Fen syd, 3. Øygarden, 4. Vibeto, 5. Fensmyra og 6. Fenbukta.

Se følgende sider for nærmere beskrivelse av hvert område. Polygonene er ikke målt inn nøyaktig og de beskrevne arealene er målt omtrentlig. Stiplede, blå linjer viser den vestlige begrensningen av Fensfeltet.

## DATAGRUNNLAG FOR THORIUMRESSURSANSLAG

### Berggrunnsgeologiske kart og feltobservasjoner

Fensfeltet er ikke som andre geologiske områder. Det er geologisk uhyre komplekst og det meste av berggrunnen er mer eller mindre dekket av løsmasser. Siden Fensfeltet er verdensberømt for sin geologi tror mange, også fagfolk, at Fensfeltet er svært godt berggrunnsgeologisk kartlagt. Sannheten er at området er heller dårlig kartlagt. Hvorfor er det slik?

Det har flere årsaker:

**Kompleksitet.** De ulike bergartene har en ekstremt kompleks dannelseshistorie med både en magmatisk og en omvandlingshistorie i tillegg til at bergartene har blitt utsatt for mekaniske påvirkninger (eksplosjonsbrekker, forkastninger, oppsprekninger etc). I tillegg varierer utbredelsen av hver geologiske enhet voldsomt, fra bare noen cm til hundrevis av meter. Tolkningen av hva en ser på de ulike stedene i Fensfeltet der fjell er mulig å se vil være sterkt påvirket av den geologiske forståelsen til kartleggeren. Den har ikke alltid vært veldig god hos alle som har kartlagt her.

**Overdekke.** Det faktum at det meste av feltet er dekket med marine leire- og siltavsetninger, til dels mange meter tykke, gjør at det er store arealer som er utilgjengelig for undersøkelse med mindre en graver seg ned til fjell eller borer ned i fjell for å ta opp bergartskjerner.

**Kartgrunnlag.** Det er først i de siste årene vi virkelig har fått gode kart over området. Gamle kartleggingsarbeider på mye dårligere kartgrunnlag har derfor begrensninger i nytteverdi. Under gruvedriften på Sørve på 1950-60 tallet ble det gravet en mengde røsker (grøfter ned til fjell). Disse røskene er nå gjenfylte og gjengrodde og de gamle opplysningene har mer eller mindre gått tapt.

### Konklusjon geologiske kart:

**Dataene fra de geologiske kartene er for dårlig til at et er mulig å bruke disse til skikkelige ressursberegninger. Volumene og utbredelsen av de ulike bergartene er for dårlig kjent. Jeg har hatt anledning til å følge med i tilfeldige gravearbeider etc i feltet gjennom nesten fire tiår. De prosentanslagene jeg oppgir for de thoriumrike bergartene i flere av de ulike delområdene er basert på feltobservasjoner jeg har gjort i de ulike delområdene. Likevel vil jeg karakterisere flere av estimatene som kvalifisert gjetting.**

### Kjerneboringer

Data fra gamle diamantboringer fra driften på 1950-60 tallet foreligger, men disse er utelukkende fra den vestre delen av Fensfeltet hvor gruvedriften da foregikk. Nyere diamantboringer ble foretatt tidlig på 1980-tallet. De fleste av disse boringene er fra området ved Gruveåsen og i området rundt Fenbukta. De fleste av diamantborekjernene fra østre del av Fensfeltet framstår i dag som korte og usystematisk plassert. I løpet av de nærmeste månedene har REE Minerals planer om å kjernebore i de områdene som i denne rapporten kalles 2. Fen syd og 5. Fensmyra. Dette vil åpenbart gi ny og viktig kunnskap om disse områdene og vil umiddelbart gi muligheter for å teste thoriumressursanslagene for de områdene.

### Gammastrålekart

Det foreligger to generasjoner gammastrålekart over Fensfeltet (Dahlgren 1983) og NGU 2006. Kartet fra 1983 var basert på scintillometermålinger på bakken. Målingene i 2006 ble utført fra helikopter. Disse kartene er nyttige, men langt fra tilstrekkelige for å vurdere thoriumressurser. Se kommentarer om disse kartene tidligere i rapporten.

### Kjemiske bergartsanalyser

Kjemiske bergartsanalyser er naturligvis helt essensielle for i det hele tatt å kunne foreta noen anslag av thoriumressursene.

Jeg har benyttet flere datasett:

Bergartsanalyser fra min tid ved Universitetet i Oslo, produsert med XRF ved University of Leicester ca 1990. Dette er en meget liten database.

Mye gamle data er hentet fra rapporter fra J.A.W. Bugge /NGU, Forskningsgruppe for sjeldne Jordarter, Megon og Fenco. Disse rapportene har jeg fått tilgang til gjennom vennlig tillatelse fra Direktoratet for Mineralforvaltning, NGU og spesielt Fen Minerals som nå har rettigheten i dette området.

Datakvaliteten har åpenbart variert gjennom årene. De gamle dataene har derfor blitt silt slik at de antatt beste analysesettene er brukt. Dataene er en blanding av nøytronaktiveringanalyser og XRF.

Et excel regneark med alle gamle kjemiske analyser ble stilt til min rådighet fra Fen Minerals, ved B. Bergfall, D. Cappelen og E. Stokken. Dette var svært viktig for arbeidet. Disse analysene danner grunnlaget for vurderingene av områdene 1, 3, 6 (berggrunnen).

REE Minerals, ved R. Vigdal og C. Østergaard, har også velvilligst stilt til rådighet regneark med nye analyser av en mengde bergarter fra område 2. Dette har vært et uvurderlig grunnlag for vurdering av områdene 2 og 5.

### Mikroskopi og elektronmikroskop

Jeg har også undersøkt en hel del prøver i polarisasjonsmikroskop og elektronmikroskop for å fastslå hvilke mineraler thorium befinner seg i. Dette arbeidet er kun i en tidlig fase (se side 7).

### Densitet

Bergartsdensitetene anvendt i kalkylene er hentet fra Ramberg 1973.

### Flyfoto

Det er anvendt flyfoto og gjort arealberegninger ved hjelp av interaktive ortofoto på Norge i Bilder ([www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no))



## OMRÅDE 1: GRUVEÅSEN

Området Gruveåsen tilsvarer det gamle jerngruveområdet på Fen. Det er skogbevokst. Området strekker seg fra Norsjø i sydlig retning mot Fen skole og Fensmyra.



Figur 9. Område 1, Gruveåsen.

### Områdebeskrivelse

**Ca areal:** 370.000 m<sup>2</sup>

**Topografiske forhold:** Området er kupert. Norsjø's overflate er 15,8 m.o.h. og Gruveåsen, helt øst i området er ca 162 m.o.h. Høyden sentralt i området er 100 - 125 m o.h.

**Bergarter:** Det er overveiende rødtberg i dette området. Helt i øst, opp mot Gruveåsen er det grense mot granittisk gneis. Flekkvis innenfor området er det soner med ulike mindre omvandlete Fensfeltbergarter som inneholder mindre mengder thorium. Rødtberget er sterkt jernanrikt i enkelte N-S til NV-SØ strykede soner som det i perioden 1652 til 1927 ble drevet jerngruver på. Noen av disse gruvene går ned til ca 150 meter under dagoverflaten. En god del av fjellet er derfor hulet ut og fjernet.

**Overdekningsgrad:** Marin grense går på ca 135 m o.h. og det er derfor en del overdekke i lia ned mot Norsjø og ut mot jordene mot sør. Ellers er det et nokså tynt dekke med løsmasser i området. Forøvrig er det mange gamle gruvetipper som dekker overflaten i store deler av området, men dette er rødtberg tatt ut av gruvene. Disse tippene er thoriumholdige og er i seg selv potensielle ressurser.

**Bebyggelse:** Det er ikke noen bebyggelse direkte oppå de mest radioaktive områdene, men Fen skole og enkelte bolighus ligger sør og sørvest på grensa til området.

### Radiometriske thoriumanomalier:

Dette er området er der det ble påvist høyest gammastrålenivå ved scintillometermålingene på tidlig 1980-tall (Dahlgren 1983). Gammaspektrometermålingene fra helikopter i 2006 bekreftet at det svært høye gammastrålenivået nesten bare skyldtes høy thorium i grunnen.

### Anslag av thoriumressurser:

#### Datagrunnlag for thoriumanslag

Det berggrunnsgeologiske kartet over området er grovt, men brukbart til en første tilnærming. Riktignok er grensa mot gneisene i øst temmelig uregelmessig og dårlig kartlagt. Avgrensingen av dette området ansees likevel som relativt godt underbygget. Internt i området er de detaljerte geologiske variasjonene dårlig kjent.

Bergartene på Gruveåsen har vært kjent for å ha et meget høyt thoriuminnhold siden 1960-tallet. Dette er det stedet i Fensfeltet hvor det har blitt utført flest analyser både fra prøver tatt på overflaten, i de gamle jerngruvene og fra flere borhullskjerner. Den primære interessen har riktignok vært sjeldne jordartsmetaller (REE), men thorium har rutinemessig blitt analysert i mange av prøvene.

#### Anslagsgrunnlag:

Antall analyser: 511.

Bergartens densitet: 2,95

#### Gjennomsnittlig thoriuminnhold:

872 gram / tonn; 2572 gram / m<sup>3</sup>

Ut i fra kjennskap til de geologiske forholdene på stedet anslås 40 % av området som et lavt estimat for volumet for thoriumrike bergarter, mens 60 % angir et høyt estimat.

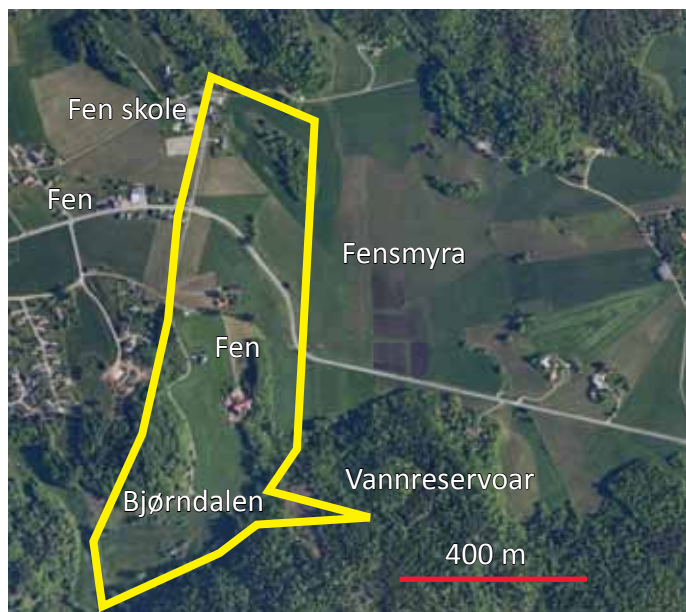
Noen av de høyeste thoriumkonsentrasjonene jeg kjenner til er på rundt 0,4% Th. Disse er fra jernrike områder inne i gruvene. Det er derfor mulig at de rikeste thoriumpartiene ble fjernet i de øvrige delene av området under jerngruvedriften. Derfor er %-andelen thoriumrike bergarter ikke satt høyere.

### Anslått thoriumressurser, område 1 Gruveåsen:

| Dybde     | Lavt anslag tonn Th | Høyt anslag tonn Th |
|-----------|---------------------|---------------------|
| 100 m dyp | 36014               | 54020               |
| 300 m dyp | 108041              | 162061              |
| 500 m dyp | 180068              | 270102              |

## OMRÅDE 2: FEN SYD

Området ligger mellom Fen skole i nord, sørover mot Fen-gårdene og Bjørndalen. En liten avstikker går opp mot vannreservoaret vest på Brillekåshaugen. Riksveien går gjennom området i det som kalles Lensmannssvingane.



Figur 10. Område 2, Fen syd.

### Områdebeskrivelse

**Ca areal:** 290.000 m<sup>2</sup>

**Topografiske forhold:** Området er forholdsvis flatt og ligger på ca 100-125 m o.h.

**Bergarter:** Det er forholdsvis få blotninger av fjell i dagen. Disse er (regnet fra nord) SØ for Fen skole (rødberg), riksveien ved Lensmannssvingane (rødberg), skrent mot øst i området ved de to sydlige Fen-gårdene (vesentlig rødberg), syd og øst på Rullekoll (rødberg, damtjernitt og andre bergarter som delvis er "rødbergisert"). Langs veien opp mot vannreservoaret er det granittiske gneiser, rødberg og omvandlet damtjernitt.

**Overdekningsgrad:** Området er relativt sterkt overdekket, anslagsvis ca 80 %. Dette er marine silt og leireavsetninger. De har trolig fra 1 til noen få meters mektighet.

**Bebyggelse:** Fen skole ligger helt nord i området. Riksveien krysser gjennom området og syd for denne ligger to Fen-gårder, Bjørndalen og noen bolighus.

### Radiometriske thoriumanomalier:

Det er forhøyet gammastrålingsnivå i Rullekoll, langs riksveien, SØ for Fen skole og i området mellom den sydligste Fen-gården og veien opp mot vannreservoaret. Dette er områdene der det er fjell i dagen. Løsmassene på jordene er mer enn tykke nok til at de effektivt skjermer for gammastråling fra underliggende berggrunn. Boringer gjennom løsmassene foretatt av Nome kommune i 2011 viser at løsmassene bare er vanlige leire-/siltavsetninger som ikke er radioaktive.

### Anslag av thoriumressurser:

Datagrunnlag for thoriumanslag

Berggrunnen i området er dårlig kjent. Vi har bare en viss kunnskap ut ifra de rabbene som stikker opp i dagen å holde oss til, mens alt under overdekket, dvs over 80 % av arealet er ikke kjent. Anslagene må derfor bygge på kvalifisert gjetning ut fra hva som finnes på de eksponerte rabbene.

Anslagsgrunnlag:

Antall analyser: 88

Bergartens densitet: 2,95

Gjennomsnittlig thoriuminnhold:  
361 gram / tonn; 1065 gram / m<sup>3</sup>

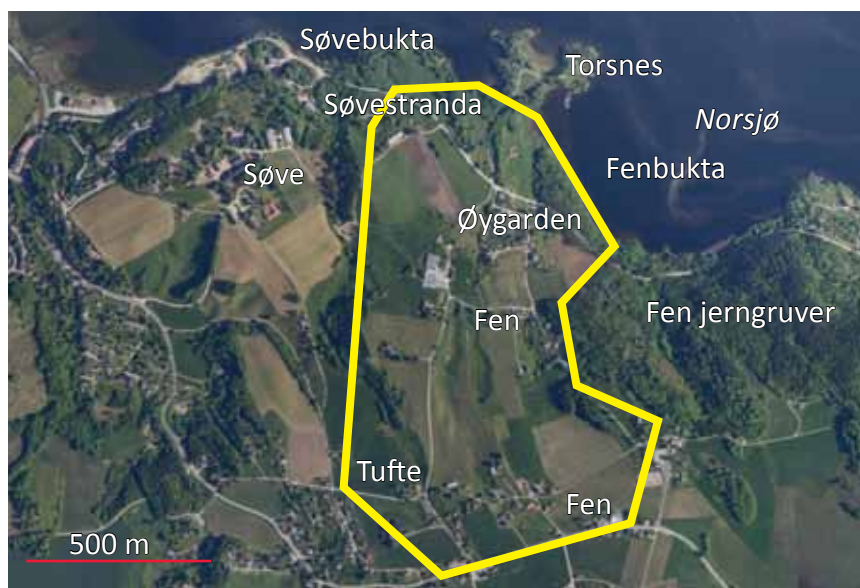
Ut ifra kjennskap til de geologiske forholdene på stedet anslås 10 % av området som et lavt estimat for volumet for thoriumrike bergarter, mens 50 % angir et høyt estimat.

### Anslått thoriumressurser, område Fen syd :

| Dybde     | Lavt anslag tonn Th | Høyt anslag tonn Th |
|-----------|---------------------|---------------------|
| 100 m dyp | 3088                | 15442               |
| 300 m dyp | 9265                | 46325               |
| 500 m dyp | 15442               | 77209               |

### OMRÅDE 3: ØYGARDEN

Området dekker en ganske stor del av Fensfeltet, helt fra Torsnes og Søvestranda i nord til riksveien i sør. Grensa er satt øst for dalføret (som følger en forkastning) mellom Søvøbukta og Tufte. I øst avgrenses området av Fenbukta, Fen skole og veien mellom Fen skole og Øygarden.



Figur 11. Område 3, Øygarden.

#### Områdebeskrivelse

**Ca areal:** 770.000 m<sup>2</sup>

**Topografiske forhold:** Området er svakt skrånende fra Norsjø (15,8 m o.h.) og sydover til riksveien som ligger på ca 100 m o.h.

**Bergarter:** På det geologiske kartet over Fensfeltet er nesten hele dette området merket av som ankeritt-karbonatitter (rauhaugitt). Dette er riktig for området ut mot Fenbukta og ved veien mot Søvøbukta til Tufte er det på det geologiske kartet merket av både rødberg og damtjernitt. Ellers er området totalt overdekket og det er egentlig helt ukjent hva slags bergarter som finnes i store deler av dette området.

**Overdekningsgrad:** Området er svært overdekket, anslagsvis minst 90 %. Dette er tildels flere meter tykke avsetninger av leire, silt og sand. Berggrunnen er det derfor bare mulig å observere i dagen noen få steder.

**Bebyggelse:** Det ligger flere gårdsbruk i området. Nord for riksveien og i området Øygarden - Skippervold er det mange bolighus.

#### Radiometriske thoriumanomalier:

Det er ikke målt nevneverdige gammastrålenivåer over området. Dette skyldes trolig det tykke overdekket med leire-/siltavsetninger (Dahlgren 1983).

Unntaket er i området mellom Øygarden og Fenbukta. Her er det fjell i dagen som viser høy gammastråling fra thorium.

#### Anslag av thoriumressurser:

Datagrunnlag for thoriumanslag

Berggrunnsgeologien er meget dårlig kjent i dette området. Det skyldes den kraftige overdekningen med leire-/siltavsetninger. Med unntak av området mellom Øygarden og Fenbukta er det boret minimalt i området. Thoriumanalysene som er utført i fra bergarter i dette området er alle tatt i NØ. Boreprøver vest i Feltet utført ved driften på Søvø i 1960-årene ble ikke analysert på thorium.

Anslagsgrunnlag:

Antall analyser: 47 (alle tatt NØ i området)

Bergartens densitet: 2,91

Gjennomsnittlig thoriuminnhold:

485 gram / tonn; 1411 gram / m<sup>3</sup>

Ut i fra kjennskap til de geologiske forholdene på stedet anslås 10 % av området som et lavt estimat for volumet for thoriumrike bergarter, mens 40 % angir et høyt estimat.

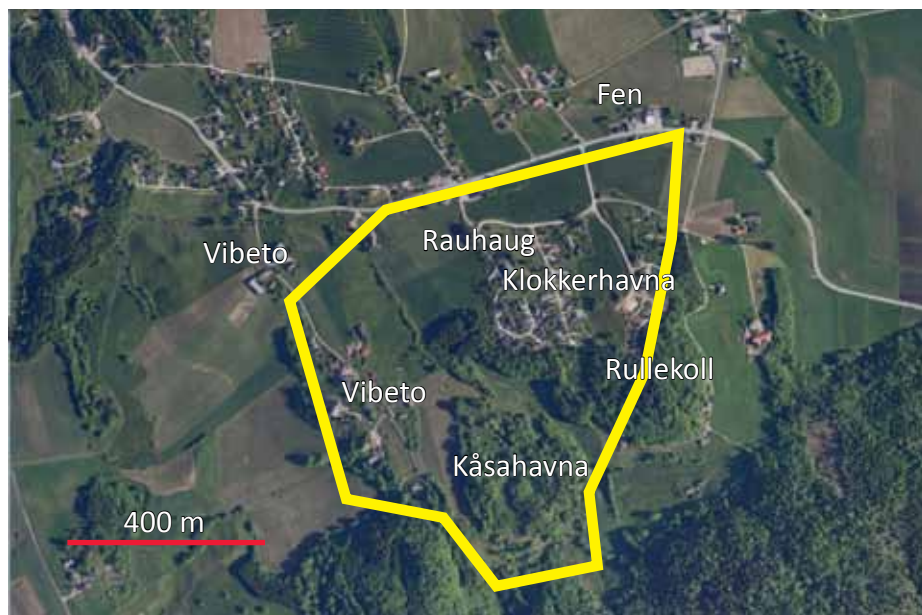
#### Anslått thoriumressurser, område 3 Øygarden :

| Dybde     | Lavt anslag tonn Th | Høyt anslag tonn Th |
|-----------|---------------------|---------------------|
| 100 m dyp | 10867               | 43470               |
| 300 m dyp | 32602               | 130409              |
| 500 m dyp | 54337               | 217348              |



## OMRÅDE 4: VIBETO

Området ligger sør for riksveien, med Vibetogårdene i vest og Rullekoll i øst. Mot sør avgrenses området av den bratte lia sør for Vibeto og Kåshavna.



Figur 12. Område 4, Vibeto.

### Områdebeskrivelse

**Ca areal:** 500.000 m<sup>2</sup>

**Topografiske forhold:** Området er litt kupert. Riksveien ligger på ca 100 m o.h. Kåshavna og Rullekoll er små åser på ca 150 m o.h.

**Bergarter:** Dette området er geologisk nokså komplekst som alle andre deler av Fensfeltet der det er mulig å se fjell på overflaten. Store deler av berggrunnen i området er kartlagt som rødberg og rauhaugitt. Det finnes også flere damtjernitter av variabel størrelse, et område med vibetoitt (Kåshavna), og en forholdsvis stor del av den sørlige halvdel av dette området består av søvitt.

**Overdekningsgrad:** Overdekningen i området er moderat til Fensfeltet å være, anslagsvis 50-70%.

**Bebyggelse:** Dette er det tettest bebygde av de vurderte områdene. I vest ligger Vibetogårdene, mot øst følger Rauhaug og den vestligste Fen-gården, I området ved Rauhaug, Klokkehavna og Rullekoll er det oppført mange nye eneboliger de siste 30 årene, seinest i 2011.

### Radiometriske thoriumanomalier:

Det er forholdsvis høye gammastrålenivåer ved Rauhaug, Klokkehavna og særlig Rullekoll. Dette skyldes at her er det fjell i dagen som består av rauhaugitt og rødberg. Ellers er gammastrålenivået lavt til moderat. Dette skyldes nok både overdekning og at det er en god del bergarter som har lavt thoriuminnhold i området (søvitt, damtjernitt, vibetoitt).

### Anslag av thoriumressurser:

Datagrunnlag for thoriumanslag

Dette området er så komplekst, så overdekket og bebygd at kunnskapen om berggrunnens oppbygning ikke kan sies å være mere enn i best fall moderat. Det er aldri foretatt noen kjerneboringer i området såvidt meg bekjent.

Anslagsgrunnlag:

Antall analyser: 15

Bergartens densitet: 2,95 (rødberg)

Gjennomsnittlig thoriuminnhold:

141 gram / tonn; 416 gram / m<sup>3</sup>

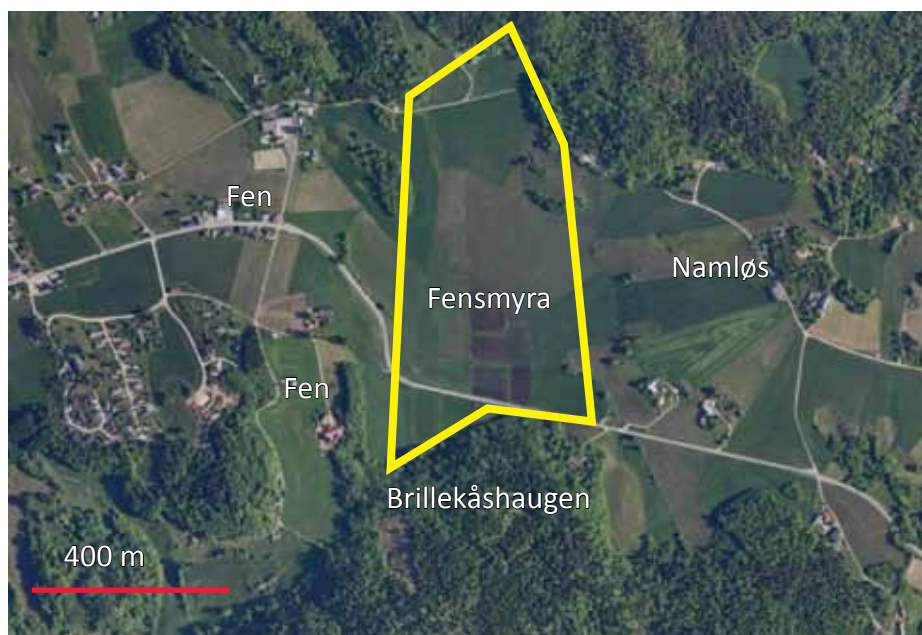
Ut i fra kjennskap til de geologiske forholdene på stedet anslås 5 % av området som et lavt estimat for volumet for thoriumrike bergarter, mens 10 % angir et høyt estimat.

### Anslått thoriumressurser, område 4 Vibeto :

| Dybde     | Lavt anslag tonn Th | Høyt anslag tonn Th |
|-----------|---------------------|---------------------|
| 100 m dyp | 1040                | 2080                |
| 300 m dyp | 3120                | 6239                |
| 500 m dyp | 5199                | 10399               |

## OMRÅDE 5: FENSMYRA

Området ligger sør for Gruveåsen, øst for Fengårdene i forsengkningen der riksveien fra Skien går over ei lang slette og inn i de skarpe Lensmannssvingane.



Figur 13. Område 5, Fensmyra.

### Områdebeskrivelse

**Ca areal:** 190.000 m<sup>2</sup>

**Topografiske forhold:** Hele området ligger i en forsenkning 90-100 m o.h.

**Bergarter:** Vi vet *ingen ting* om bergartene i dette området. Det er tidligere antatt at det ligger utenfor Fensfeltet (Sæther 1957). I såfall består området av en vanlig granittisk gneis. Nettopp det faktum at dette området danner en forsenkning i terrenget kan tyde på at det faktisk er en del av Fensfeltet og da består av lett eroderbare karbonatitter. I såfall kan området bestå av de samme bergartene som vi finner nord, vest og sør for området, d.v.s. vesentlig rødberg eller en eller annen karbonatitt.

**Overdekningsgrad:** Området er 100 % overdekket av jordbruks-areal på drenert myrområde som ligger oppå marine leire-/siltavsetninger.

**Bebyggelse:** Det er ingen bebyggelse i området, men riksveien krysser tvers over i sydkant.

### Radiometriske thoriumanomalier:

Det er ikke noen forhøyet gammastråling i området. Det kan heller ikke forventes uansett hvor radioaktiv berggrunnen måtte være p.g.a. det tykke løsmasseoverdekket.

### Anslag av thoriumressurser:

#### Datagrunnlag for thoriumanslag

Berggrunnen i dette området er totalt ukjent. Vi vet bare at øst og nord for Fensmyra er det rødberg, sør for Fensmyra er det rødberg og granittisk gneis, mens øst for myra er det kun granittisk gneis. Grensa mellom granittisk gneis og rødberg går derfor et eller annet sted innenfor eller helt i vestkant, eller helt i østkant, av dette området.

#### Anslagsgrunnlag:

Antall analyser: 0 (28 analyser av rødberg som er prøvetatt helt inn mot Fensmyra er brukt for som utgangspunkt for thoriuminnhold i dette området dersom det er rødberg her).

Bergartens densitet: 2,95

Gjennomsnittlig thoriuminnhold:  
311 gram / tonn; 917 gram / m<sup>3</sup>

Ut i fra kjennskap til de geologiske forholdene på stedet anslås 5 % av området som et lavt estimat for volumet for thoriumrike bergarter, mens 50 % angir et høyt estimat. Dette vil trolig avklares ganske snart siden REE Minerals har planer om å kjernebore i området.

### Anslått thoriumressurser, område 5 Fensmyra :

| Dybde     | Lavt anslag tonn Th | Høyt anslag tonn Th |
|-----------|---------------------|---------------------|
| 100 m dyp | 872                 | 8716                |
| 300 m dyp | 2615                | 26147               |
| 500 m dyp | 4358                | 43579               |

## OMRÅDE 6: FENBUKTA

Området ligger ute i Norsjø i bukta mellom Fen gamle jerngruver og Torsnesodden.



Figur 14. Område 6, Fenbukta.

### Områdebeskrivelse

**Ca areal:** 280.000 m<sup>2</sup>

**Topografiske forhold:** Området er ganske grunt, trolig grunnere enn 50 m under Norsjø's overflate (15,8 m o.h.). Bekken fra Bolladalen renner ut SV i området. I fortsettelsen av bekken går det på innsjøbunnen en flere meter dyp erosjonskanal mot NNØ.

### Sedimenter:

Bunnprøvetaking foretatt av S. Dahlgren ca 1980 viser at det i denne bukta ligger sedimentert avgang fra Fen gamle jerngruver. Ingen ting er kjent om utbredelsen eller tykkelsen til disse avgangssedimentene.

### Bergarter:

Det er mulig at rødberget som er ved Fen jerngruver går et stykke ut i bukta. Høyst sannsynlig går grensa mellom Fensfeltet (indre del av bukta) og omgivende gneiser som ei linje fra SØ i Fenbukta til Torsnesodden. Det er aldri foretatt noen kjerneboring ut i bukta.

**Overdekningsgrad:** Det er sansynlig at løsmasser som leire, silt og sand dekker berggrunnen, og at slike naturlige sedimenter ligger under avgangssedimentene fra jerngruvene.

**Bebyggelse:** Ingen.

### Radiometriske thoriumanomalier:

Gammastråling over vann er ikke målbar fra helikopter.

### Anslag av thoriumressurser:

Datagrunnlag for thoriumanslag

Det er kun tatt opp to prøver av avgangssedimentene. Siden det gikk avgang fra pukkerverk / vaskeri ut i bukta under store deler av driften av Fen jerngruver er det sannsynlig at det er tykke sedimenter med denne avgangen ute i bukta. Berggrunnsgeologien er totalt ukjent under vann. Det er imidlertid sannsynlig at rødberget fortsetter noe ut i bukta fra sør. Denne antakelsen legges til grunn for at det finnes thorium også i berggrunnen ute i bukta.

Anslagsgrunnlag:

Antall analyser berggrunn: 0. Det antas at det kan finnes bergarter med thoriumkonsentrasjon a la Gruveåsen eller Øygarden og i anslaget er det antatt at thoriuminnholdet kan ligge mellom thoriumverdiene for disse to områdene. Analyser sediment: 2

Bergartens densitet: 2,95

Sedimentets densitet: 2,00 (antatt, tørr)

Gjennomsnittlig thoriuminnhold:

Bergart: 680 gram / tonn; 2006 gram / m<sup>3</sup>

Avgangssediment: 770 gram / tonn; 1540 gram / m<sup>3</sup>

Ut i fra kjennskap til de geologiske forholdene på stedet anslås 10 % av området som et lavt estimat for volumet for thoriumrike bergarter, mens 20 % angir et høyt estimat. For avgangssedimentene er det antatt at de er henholdsvis 5 og 10 m tykke og dekker hele området.

### Anslått thoriumressurser, område 6 Fenbukta :

| Dybde               | Lavt anslag tonn Th | Høyt anslag tonn Th |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| Sediment 5 m tykt   | -                   | 2156                |
| Sediment 10 m tykt  | -                   | 4312                |
| Fjell til 100 m dyp | 5617                | 11234               |
| Fjell til 300 m dyp | 16850               | 33701               |



## VURDERINGER AV THORIUMRESSURSANSLAGENE

Anslagene som foreligger i denne rapporten er høyst foreløpige. Det er åpenbart nødvendig med omfattende oppfølgende undersøkelser for å kunne foreta skikkelige ressursberegninger.

Kommentarer til hvert av de omtalte områdene med henvisning til figur 15:

1. Gruveåsen. Dette er utvilsomt det viktigste området for thorium på Fensfeltet.

2. Fen syd. Dette området er lite kjent. Tilsynelatende er thoriuminnholdet i rødberget langt mindre her enn i Gruveåsen (gjennomsnitt 872 g/tonn i Gruveåsen, 361 g / tonn Fen syd). Likevel er dette en sannsynlig thoriumressurs å regne med.

3. Øygarden. Dette området er stort og har thoriumrike bergarter i den østlige delen av området. Det er imidlertid stor usikkerhet i hvor store volumer disse bergartene har. Området har ved siden av Gruveåsen potensielt de største thoriumressursene i Fensfeltet.

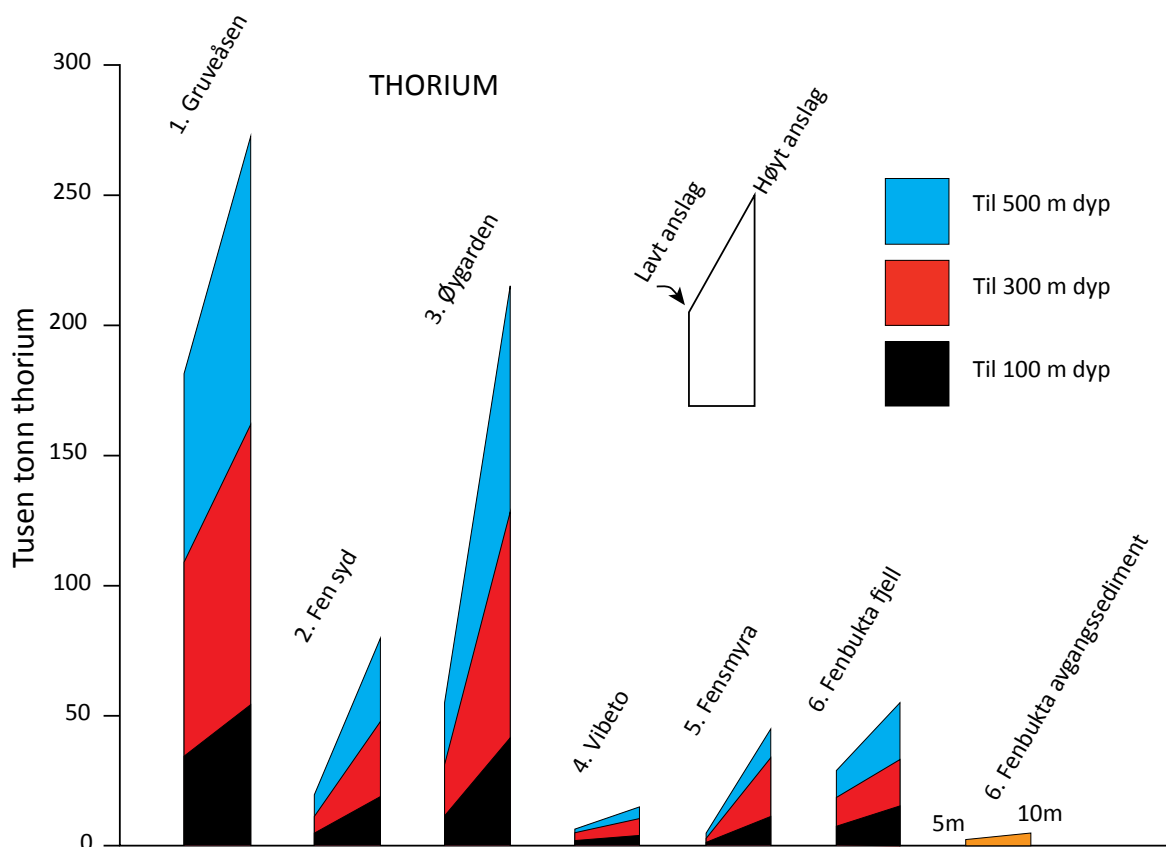
4. Vibeto. Dette er det minst interessante av områdene som er vurdert. Det er forholdsvis lite data fra området, men det er også en meget stor andel av thoriumfattige bergarter i området. Selv de bergartene som ellers i Fensfeltet har høyt thoriuminnhold har relativt lite thorium i dette området.

5. Fensmyra. Dette området er helt ukjent. Her kan det være nærmest ikke noe thorium, men oppsiden, dersom det er thoriumholdige bergarter under myra, er betydelig.

6. Fenbukta. Sedimentene, dvs avgangen fra vaskeriet ved de gamle jerngruvene, i Fenbukta bidrar ikke så mye til de totale thoriumressursene i Fensfeltet. Siden dette er bløte sedimenter kan disse imidlertid være de enkleste thoriumressursene å ta ut.

Dersom Gruveåsens bergarter fortsetter ut i Norsjø kan det være et betydelig thoriuminnhold i berggrunnen ute i bukta her.

**Alle dataene er summert i tabellen på side 23.**



Figur 15. Thoriumressurser anslått for hvert av delområdene i Fensfeltet. Hver søyle viser høyt og lavt anslag for hhv et volum tilsvarende totalt uttak ned til 100, 300 og 500 meters dybde.

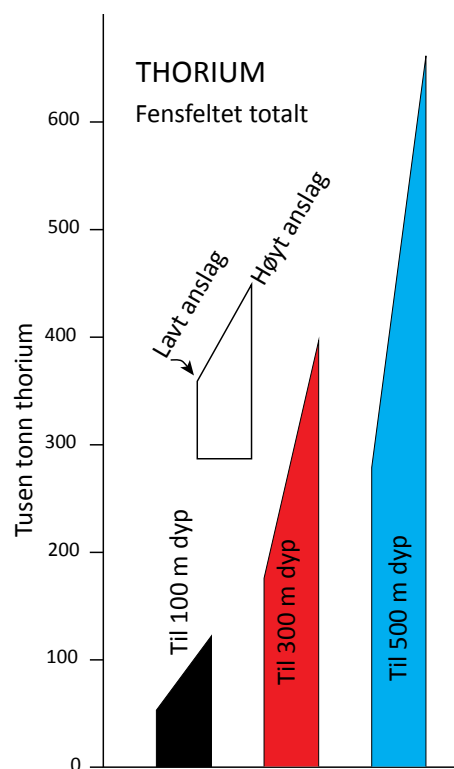
Se tabellene i beskrivelsen av hvert delområde for detaljer.

## TOTALE THORIUMRESSURSER PÅ FENSFELTET

De totale thoriumressursene i Fensfeltet er betydelige (se tabellen nedenfor og figur 16). Anslag over ressurser bare til 100 meters dybde utgjør mellom 50000 og 130000 tonn. Det er sannsynlig at de thoriumførende bergartene fortsetter mye lenger ned mot dypet, trolig ned til 500 meter eller enda mer. De totale thoriumressursene kan være, eller til og med overstige 670.000 tonn.

| Dybde | Lavt anslag | Høyt anslag |
|-------|-------------|-------------|
| 100 m | 56458       | 132881      |
| 300 m | 172493      | 404883      |
| 500 m | 287488      | 674804      |

*Totale thoriumressurser i tonn for Fensfeltet. Anslåtte ressurser for område 4 Vibeto er ikke medregnet. Eventuelle thoriumressurser i vaskeriavgang i Norsjø fra Fen jerngruver (område 6) kommer i tillegg (2000-4000 tonn).*



Figur 16. Totale thoriumressurser i tusen tonn for Fensfeltet. Anslått tonnasje for området Vibeto er ikke medregnet.

## SAMMENLIKNING MED FOREKOMSTER ANDRE STEDER I VERDEN

Sammenlikning av thoriumressurser fra ulike deler av verden er ikke enkelt (se figur 17). Vi ser av denne rapporten at det er stor usikkerhet i ressursanslagene for Fensfeltet. Det er ikke usannsynlig at det hefter stor usikkerhet rundt anslagene for forekomster andre steder i verden også.

I tidligere USGS-anslag, fram til og med 2008, var Norge, d.v.s. Fensfeltet, ført opp med reserver på 170.000 - 180.000 tonn. I 2012-anslagene fra USGS er Norge ikke ført opp med reserver i det hele tatt. Dette skyldes at thorium i Fensfeltet er svært vanskelig å ekstrahere, og Fensfeltets thoriumforekomster er derfor å klassifisere som en ressurs, men ikke som en reserve.

Det er også vanskelig å vite hva som er grunnlaget USGS har beregnet thoriumressursene i Fensfeltet på. Det samme gjelder tall oppgitt av IAEA i 2005 hvor Fensfeltet (Norge) figurerer med 132.000 tonn. Uansett er det interessant å merke seg at tallene fra USGS, IAEA og de som framkommer i denne rapporten er i noenlunde samme størrelsesorden.

| Land       | IAEA 2005 RAR | IAEA 2005 EAR | USGS 2007 Reservebase | USGS 2012 Reserver |
|------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| USA        | 137           | 295           | 300                   | 440                |
| Australia  | 19            | Ikke oppgitt  | 340                   | 410                |
| Brasil     | 606           | 700           | 18                    | 16                 |
| Canada     | 45            | 128           | 100                   | 100                |
| India      | 319           | Ikke oppgitt  | 300                   | 290                |
| Syd-Afrika | 18            | Ikke oppgitt  | 39                    | 35                 |
| Tyrkia     | 380           | 500           | Ikke oppgitt          | Ikke oppgitt       |
| Grønland   | 54            | 32            | Ikke oppgitt          | Ikke oppgitt       |
| Egypt      | 15            | 309           | Ikke oppgitt          | Ikke oppgitt       |
| Norge      | 132           | 132           | 180                   | 0                  |
| Andre land | Ikke oppgitt  | Ikke oppgitt  | 105                   | 95                 |

**Figur 17. Totale thoriumressurser i tusen tonn for verden i følge:** IAEA 2005 (RAR = Reasonably Assured Reserves; EAR = Estimated Additional Reserves) og USGS 2007 og USGS 2012. Det er åpenbart store sprik mellom ressursene IAEA oppgav og det USGS opererte med (se for eksempel Brasil og Tyrkia). Det er også i noen tilfeller en stor endring i verdiene USGS oppgav for 2007 sammenliknet med verdiene de oppgir for 2012. Det er viktig at USGS for 2012 oppgir tonnasje for sannsynlig produserbare volum. Siden thorium på Fensfeltet forekommer i en form som hittil ikke lar seg utvinne industrielt er thorium i Norge for 2012 av USGS oppgitt til 0. Det er imidlertid grunn til å merke seg at ressursanslagene i denne rapporten viser at thoriumforekomstene på Fensfeltet er blant de største i verden selv om noen andre lands forekomster er kraftig oppgradert.

## KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

### Anslag av Fen thoriumressurser

Dette er det første anslag over kjente subøkonomiske og hypotetiske thoriumressurser i Fensfeltet hvor grunnlaget for vurderingene er offentlige. Det dreier seg om anslag, ikke om gjetninger, men det er langt igjen til det virkelig vil være mulig å foreta solide ressursberegninger.

#### Anslagene viser:

Thoriumressursene på Fensfeltet er i samme størrelsesorden som USGS og IAEA har operert med, men anslagene i denne rapporten er langt mer nyansert / differensiert.

Gruveåsen er det viktigste området, tett fulgt av området kalt Øygarden. Det er sannsynlig at det området som grenser til disse to områdene i nordøst også finnes thoriumressurser, d.v.s. i berggrunnen under Norsjøns nivå i Fenbukta.

Området Fen syd er en sannsynlig tilleggsressurs, men er langt fra så rikt på thorium som på Gruveåsen.

Fensmyra er totalt ukjent, men har en oppside som thoriumressurs dersom det blir påvist rødberg / karbonatitt i betydelige volumer der.

Vibeto-Rauhaug-området er tilsynelatende lite interessant, men det er få data fra området.

Avgangen fra de gamle jerngruvene på Fen ligger på bunnen i Norsjø i Fenbukta og kan være en thoriumressurs (og selvsagt en REE-ressurs) som er lett å hente opp (grabbing eller "støvsugning" fra båt).

### Anbefalinger

Det bør være et mål å gjøre tilstrekkelig med geologiske undersøkelser for å få laget tidsmessige og skikkelige ressursberegninger for thorium i Fensfeltet. Thoriumressursene kan ikke sees isolert fra REE-ressursene da thorium og REE-mineraler forekommer intimt sammen og at utvinning av REE nødvendigvis også må ta hensyn til forekomsten av thorium i bergartene.

### Hva må gjøres for å få en framtidsrettet oversikt over REE- og thoriumressursene i Fensfeltet?

#### Ny, detaljert berggrunnskartlegging er helt grunnleggende!

Det må foretas en ny, detaljert geologisk kartlegging av området. Dette må gi en 3D forståelse av:

- Gruveåsen
- Øygarden
- Fen syd
- Fensmyra
- Fenbukta

For å få til dette må det kartelegges nitid på overflaten med bruk av det mest detaljerte kartverket som finnes, eventuelt som lages.

Siden store deler av de aktuelle områdene er svært overdekket av løsmasser må det utføres graving gjennom løsmassene ned til fast fjell der det er mulig. Der det ikke er mulig må det foretas systematiske kjerneboringer. Kjerneboringer mot dypet må også foretas der det er fjell i dagen. Disse må være strategisk velplassert og gå ned til en dybde av minst til 500 m. Se kommentarene til kartet på neste side.

Det må systematisk foretas nye kjemiske analyser av prøver tatt på overflaten og fra borkjerner. Disse prøvene må gi et representativt geokjemisk innblikk i de ulike bergartene i de aktuelle delområdene

Prøvene må også systematisk undersøkes i mikroskop, elektronmikroskop og elektronmikrosonde.

Denne kartleggingen vil være svært tidkrevende og koste en god del. Likevel vil dette koste langt mindre enn det som er vanlig for geologiske undersøkelser rundt ethvert oljefelt i Nordsjøen.

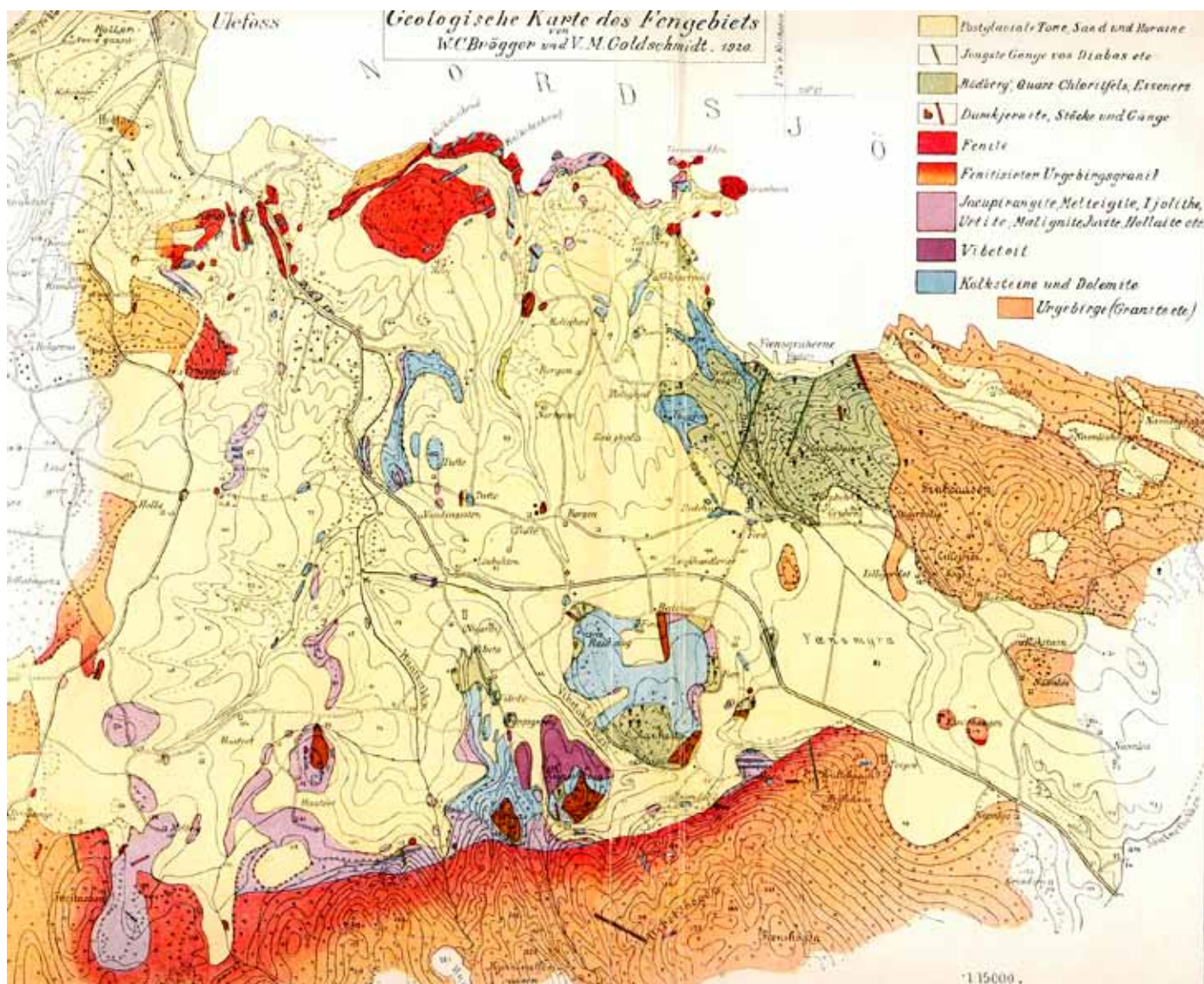
Det vil antakelig også være vel verdt å ta bunnprøver av sedimenter i Fenbukta og analysere disse for thorium og REE. Disse ressursene kan vise seg å være de som er enklest å utnytte på kort sikt.

#### Hvordan bringe en forekomst fra en ressurs til en reserve?

Både når det gjelder thorium og REE på Fensfeltet er det helt nødvendig å finne metoder for å ekstrahere thorium og REE. Uten å lykkes med dette vil Fensfeltet aldri kunne bli en reserve for noen av delene.



## FENSFELTET - BERGGRUNNSGEOLOGISK KART ANNO 1921 OG ANNO 2012



Figur 18. Faksimile av Brøggers geologiske kart over Fensfeltet fra 1921. Områdene med lys gul farge er dekket av tykke leire-/siltavsetninger. Vår kjennskap til geologien i disse områdene er ikke særlig mye bedre nå enn da Brøgger for nesten 100 år siden kartla området. En ny, svært detaljert kartlegging av berggrunnen, både den som er i dagen og den som er overdekket vil være helt essensielt for å kunne foreta skikkelige ressursberegninger for thorium og REE.

## Referanser

Andersen, T., 1987, A model for the evolution of hematite carbobate, based on whole-rock major and trace element data from the Fen complex, southeast Norway. Applied Geochemistry 2, 163-180.

Brøgger, W.C., 1921, Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes IV. Das Fengebiet in Telemark, Norwegen. Vit. Selsk. Skr. I. Mat. Nat. Klasse 1920, No 9, 420pp.

Dahlgren, S., 1983, Naturlig radioaktivitet i berggrunnen. Gammastrålingskart. Fensfeltet, Telemark, m 1:10.000. prosjekt Temakart Telemark.

Dahlgren, S., 2008, Thorium i Buskerud, Telemark og Vestfold fylker. Regiongeologen rapport nr 1, 2008, 20pp.

Direktoratet for Mineralforvaltning:  
Diverse BV-rapporter (BV 356, BV421, BV 1332, BV 5164)

IAEA, 2005, Thorium fuel cycle - Potential benefits and challenges. IAEA-TECDOC 1450, 150 pp.

NGU 2006, Helikopter gammaspektrometrisk kart Thorium, Fensfeltet.

Ramberg, I.B., 1973, Gravity studies of the Fen Complex, Norway, and their petrological significance. Contributions to Mineralogy and Petrology 38, 115-134.

Svinndal, S., 1973, Thorium i Fensfeltet. NGU-rapport 1162, 26pp.

Thorium Report Committee, 2008, Thorium as an energy source - Opportunities for Norway. Thorium report committee, 149 pp.

US Geological Survey:  
2007: Thorium, USGS Mineral Commodity Summaries.  
2012: Thorium, USGS Mineral Commodity Summaries.  
USGS Circular 831, 1980, Appendix C. A Resource / Reserve Classification for Minerals.

# Data tabell for anslag av thoriumressurser i Fensfeltet

| FEN THORIUM ESTIMATER   |                   |                   |                 |                 |                     |                     |                    |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
|---|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| THORIUM I FENSFELLET - ESTIMERT FOR SUBOMRÅDER, KORRIGERT FOR ANTATT %-ANDEL AV RIKE BERGARTER, KALKULERT TIL ULIKE DYP |                   |                   |                 |                 |                     |                     |                    |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
| Område  | Gruveåsen Rødberg | Gruveåsen Rødberg | Fen syd Rødberg | Fen syd Rødberg | Øygarden Rauhaugitt | Øygarden Rauhaugitt | Vibeto Rødb/Rauh   | Vibeto Rødb/Rauh | Fensmyra Rødb | Fensmyra Rødb | Fenbukta 10 m Sedim | Fenbukta 5m sedim | Fenbukta Rødb/Rauh | Fenbukta Rødb/Rauh |
| m2  | 350000            | 350000            | 290000          | 290000          | 770000              | 770000              | 500000             | 500000           | 190000        | 190000        | 280000              | 280000            | 280000             | 280000             |
| Kons Th g/3n  | 872               | 872               | 361             | 361             | 485                 | 485                 | 141                | 141              | 311           | 311           | 770                 | 770               | 680                | 680                |
| Std avvik   | 515               | 515               | 260             | 260             | 350                 | 350                 | 92                 | 92               | 231           | 231           |                     |                   |                    |                    |
| Kons Th lav   | 160               | 160               | 26              | 26              | 84                  | 84                  | 32                 | 32               | 71            | 71            | 140                 | 140               |                    |                    |
| Kons Th høy   | 4032              | 4032              | 1000            | 1000            | 772                 | 772                 | 294                | 294              | 841           | 841           | 1300                | 1300              |                    |                    |
| n analyser  | 511               | 511               | 88              | 88              | 47                  | 47                  | 15                 | 15               | 0(28)         | 0(28)         | 2                   | 2                 | 0                  | 0                  |
| %-andel th-rik bergart  | 40                | 60                | 10              | 50              | 10                  | 40                  | 5                  | 10               | 5             | 50            |                     |                   | 10                 | 20                 |
| Densitet  | 2,95              | 2,95              | 2,95            | 2,95            | 2,91                | 2,91                | 2,95               | 2,95             | 2,95          | 2,95          | 2,00                | 2,00              | 2,95               | 2,95               |
| gj sn kons g/m3   | 2572              | 2572              | 1065            | 1065            | 1411                | 1411                | 416                | 416              | 917           | 917           | 1540                | 1540              | 2006               | 2006               |
| tonn Th i bergart til 100 m dyp   | 36014             | 54020             | 3088            | 15442           | 10867               | 43470               | 1040               | 2080             | 872           | 8716          | 5617                | 5617              | 11234              | 11234              |
| tonn Th i bergart til 300 m dyp   | 108041            | 162061            | 9265            | 46325           | 32602               | 130409              | 3120               | 6239             | 2615          | 26147         | 16850               | 16850             | 33701              | 33701              |
| tonn Th i bergart til 500 m dyp   | 180068            | 270102            | 15442           | 77209           | 54337               | 217348              | 5199               | 10399            | 4358          | 43579         | 28084               | 28084             | 56168              | 56168              |
| tonn Th i sedimenter  |                   |                   |                 |                 |                     |                     |                    |                  |               |               | 4312                | 2156              |                    |                    |
| Totalt i fast fjell:  |                   |                   |                 |                 |                     |                     | Vibeto fratrukket: |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
| Lavt estimat 100m   | 57498             |                   |                 |                 |                     |                     | 56458              |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
| Høyt estimat 100 m  | 134961            |                   |                 |                 |                     |                     | 132881             |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
| Lavt estimat 300m   | 172493            |                   |                 |                 |                     |                     | 169373             |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
| Høyt estimat 300 m  | 404883            |                   |                 |                 |                     |                     | 398643             |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
| Lavt estimat 500m   | 267488            |                   |                 |                 |                     |                     | 282289             |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |
| Høyt estimat 500 m  | 674804            |                   |                 |                 |                     |                     | 664406             |                  |               |               |                     |                   |                    |                    |





**Buskerud Telemark Vestfold fylkeskommuner  
Regiongeologen**

**Samarbeidsprogrammer:**

- 1. Geologiske Ressurser mot år 2300**
- 2. Geofarer (skred)**
- 3. Geologiske attraksjoner**