

NGU Rapport 2007.021
Kartlegging av thorium, uran og kalium fra
helikopter ved Ulefoss, Nome Kommune

Rapport nr.: 2007.021		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Kartlegging av thorium, uran og kalium fra Helikopter ved Ulefoss, Nome Kommune			
Forfatter: Bjørn H. Heincke, John O. Mogaard , Jan S. Rønning og Mark A. Smethurst		Oppdragsgiver: Nome Kommune	
Fylke: Telemark		Kommune: Nome	
Kartblad (M=1:250.000) Skien		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1713 IV Nordagutu	
Forekomstens navn og koordinater: Ulefoss 515000 6571400		Sidetall: 16 Kartbilag:	Pris: 80,-
Feltarbeid utført: 27.10.2006	Rapportdato: 28. februar 2007	Prosjektnr.: 2960.02	Ansvarlig: <i>Øystein Nordgulen</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>Radiometriske helikoptermålinger er utført ved Ulefoss i Nome kommune. Målingene dekker et område på omtrent 20 km² som omfatter det vulkansk pregede Fensfeltet. Resultatene fra tidligere feltmålinger og laboratoriemålinger påpeker at store arealer i Fensfeltet viser veldig sterk gammastrålingsintensitet på overflaten og flere bergartstyper har veldig høye thoriumkonsentrasjoner og betydelige urankonsentrasjoner. Det er også påvist stråling fra avfallsmaterialer (slag) fra gruvedriften som har vært i området. På grunn av de høye thorium- og urankonsentrasjonene er viktig å vurdere helsefaren fra radon i inneluft.</p> <p>Med gammaspektrometermålinger fra helikopter har det vært mulig 1) å dekke hele det aktuelle området systematisk med en nett av parallelle profiler (linjeavstand: 50 m) og 2) å skille mellom gammastråling fra de forskjellige naturlige elementene thorium, uran og kalium. Resultatet etter dataprosessering har vært tre nøyaktige kart som viser konsentrasjonen av thorium, uran og kalium på overflaten i Fensfeltet.</p> <p>Resultatene fra helikoptermålinger viser at områder, hvor litologien består av de vulkanske bergartstypene "Rødberg" og rauhaugitt, har meget høye thorium- og betydelige urankonsentrasjoner (opptil 1060 ppm eTh og opptil 27.3 ppm eU). Bergartene søvitt og melteigitt har også høye konsentrasjonen av thorium og uran (opptil 390 ppm og 17.5 ppm). Store arealer er dekket av havavsetninger og myr, og disse skjerner for stråling fra berggrunnen. Dette betyr at arealet med store konsentrasjoner av thorium og uran kan være betydelig større enn hva måleresultatene viser.</p> <p>Sammenligning av resultatene fra de tidligere feltmålingene viser at arealet med gammastrålingsintensitet > 20 µR/h har nesten den samme utstrekning som områder med thorium- og urankonsentrasjoner høyere enn henholdsvis 40 og 4 ppm. Det finnes bare noen små thorium-/uranomalier bestemt fra helikoptermålinger som ikke eller bare delvis er bestemt fra de tidligere feltmålingene.</p> <p>Thorium-/urankonsentrasjonen fra prøvematerialet og helikoptermålingene for de forskjellige bergartstypene passer bra sammen dersom en tar den begrensede oppløsningen ved helikoptermålingene i betraktning. Den detaljerte fordelingen av thorium, uran og kalium er også fremstilt på kart i målestokk 1: 10.000. NGU har ingen forutsetninger for å vurdere helserisiko knyttet til den radioaktive strålingen.</p>			
Emneord: Geofysikk		Radiometri	Helikoptermåling
Thorium		Uran	
			Fagrapport

INNHold

1.	INNLEDNING	4
1.1	Tidligere strålingsmålinger	4
1.2	Begrensinger på tidligere strålingsmålinger	4
1.3	Motivasjon for helikoptermålinger	5
2.	GEOLOGI OG GRUVEANLEGG	5
2.1	Geologi	5
2.2	Gruveanlegg	6
3.	HELIKOPTERMÅLINGER OG DATAPROSESSERING	6
4.	RESULTATER	7
4.1	Sammenfatning av andre observasjoner fra helikoptermålinger	10
4.2	Sammenligning av resultatene fra helikopter- og tidligere feltmålinger	13
4.3	Sammenligning thorium- og urankonsentrasjonen fra helikopter- og lab-målinger	13
5.	KONKLUSJONER	15
6.	REFERANSER	15

FIGURER

Figur 1. Kart fra Fensfeltet. De svarte linjene viser forløpet til opptak av de radiometriske måledata. 7

Figur 2a) og b). Figurtekst neste side 9

Figur 2. Konsentrasjonen av de naturlige isotopene a) thorium b) uran og c) kalium på bakken, bestemt fra helikoptermålingsdata etter dataprosessering, er vist i tre forskjellige fargeplott. Områder med mer enn 560 ppm thorium og 13 ppm uran er visst i svart. Gjennomgående og stiplede hvite linjer skisserer områder med strålingsintensitet > 20 µR/h og >100 µR/h, bestemt fra de tidligere feltmålingene (Dahlgren, 1983). Bokstaver A, B, C og D indikerer anomalier som er ikke eller bare delvis bestemt fra de tidligere feltmålingene. Hvite trekkanter indikerer Holden og Ulefoss hovedgård som er bygget av blokker støpt av slagg fra jernverket og dermed har høy gammastråling. 10

Figure 3a). Figurtekst neste side. 11

Figur 3. Forenklet a) bergrunnsgeologisk og b) kvartærgeologisk kart fra Fensfeltområdet. Røde og gule linjer fremhever områder med høy thoriumkonsentrasjon (> 250 ppm) og signifikante urankonsentrasjoner (> 7 ppm) bestemt fra helikoptermålingsdata. 12

1. INNLEDNING

I Fensfeltet, området øst for tettstedet Ulefoss i Telemark fylke, finnes Norges største forekomst av det radioaktive elementet thorium (Th). Tidligere felt- og laboratoriemålinger (Dahlgren, 1983) har påvist at denne delen av Fensfeltet har uvanlig høye verdier av gammastråling fra naturlig radioaktive bergarter. Dessuten viste undersøkelsen at fra slagghaugene i området (ved jernverket i Ulefoss og ved Søvegruven), som vesentlig består av materiale fra de tidligere gruveanleggene i Fensfeltet, er gammastrålingen forsterket.

På grunn av den høye konsentrasjonen er det viktig å vurdere helsefaren for folk i Fensfeltet. En spesielt stor helsefare har opprinnelse fra den radioaktive edelgassen radon, som er et av datterelementene både fra uran- og thoriumkjeden. Radon dannes i uran- eller thoriumbærende berggrunn, samles deretter i porevolum av berggrunn og løsmasser og kan stige opp til overflaten. Når radon er til stede i luften, vil det kontinuerlig dannes kortlivet datterprodukter av radon, og det er disse som forårsaker høy stråledose i lungene ved innånding. Opphold i luftmiljø med høye radonkonsentrasjoner over mange år, gir økt risiko for utvikling av lungekreft. Man antar også at inhalering av radongass er årsaken til omtrent 280 tilfeller av lungekreft i Norge (Smethurst et al., 2006).

Radonkonsentrasjonen i luften er svært avhengig av mektighet og permeabilitet til løsmasser og uran-/thoriummengder i berggrunnen. Rapporten fra Smethurst et al. (2006) påpeker at det kan finnes en sterk sammenheng mellom urankonsentrasjon i berggrunnen og konsentrasjonen av radon i boliger innenfor det samme området.

På grunn av den mye lengre halveringstiden til radongass fra uran (Rn-222; halveringstid: 3.8 dager) enn fra thorium kjeden (Rn-220; halveringstid: 56 sekunder), er helsefaren som utgår fra uran betydelig høyere (IAEA, 2003). Likevel kan muligens veldig høye konsentrasjoner av thorium også gi økt helsefare i umiddelbart nærhet av de thoriumbærende bergartene.

1.1 Tidligere strålingsmålinger

Allerede i 1983 ble det utgitt et gammastrålingskart (målestokk 1:10.000) over Fensfeltet-Ulefoss fra regiongeolog Sven Dahlgren. Resultatene er basert på feltmålinger og undersøkelser av prøvemateriale fra bergartene i Fensfelt-området tidlig på 1980-tallet (Dahlgren, 1983).

Feltemålinger ble foretatt med en bærbar scintillasjons-teller (gammameter), som målte den totale radiometriske gammastrålingen 1 m over bakken. Målingene ble utført ved å gå profiler i terrenget. Utstrekningen av områder med høye gammastrålingsnivået på kartet fra 1983 er basert på disse feltemålingene.

Geologiske prøvelokaliteter ble valgt slik at man fikk en best mulig geografisk fordeling og et representativt utvalg av de forskjellige bergartstypene i Fensfeltområdet. Prøvematerialet ble analysert med gammaspektrometer i laboratoriet både på det Geologiske Museum, Oslo, og SIS (Dahlgren, 1983).

1.2 Begrensinger på tidligere strålingsmålinger

1. Feltemålingene ble lagt tettest i områder som viste høyest gammastrålingsnivå, men p.g.a. spesielle forhold (vegetasjon, topografi osv.) var enkelte områder mindre eller

ikke tilgjengelig. Dette resulterte i områder med få eller ingen målinger og dermed kunne det skje at noen områder med høye gammastrålingsverdier ikke ble oppdaget.

2. Med det brukte feltmålingsutstyret (gammameter) kan man få generelle opplysninger om utstrekning av områder med høye gammastrålinger og deres strålingsnivåer, men man kan ikke skille strålingsandelene fra uran- og thoriumkjeden. Prøvemateriale gir derimot informasjonen om nøyaktig konsentrasjon av uran og thorium i de forskjellige bergartstypene. Men på grunn av et begrenset antall prøver kan det være vanskelig å relatere gammastråling til de forskjellige radioaktive grunnstoffene i alle deler av det undersøkte området med kombinasjonen av felt- og lab-målinger. Det gjelder særlig hvis geologien er veldig kompleks.

1.3 Motivasjon for helikoptermålinger

Gammaspektromettermålinger fra helikopter har ikke begrensningene nevnt i avsnitt 1.2:

1. Helikoptermålinger kan foretas systematisk langs parallelle profiler og gir en jevn dekning over hele målefeltet. Områder som ikke var tilgjengelig fra bakken kan derfor undersøkes.
2. Målingene kan i dag utføres med et spektrometer montert under et helikopter som flyr i lav høyde. Fordi gammaspektrometer måler hele gammaspekteret, kan man bestemme andelene av gammastråling som går ut fra de naturlige radioaktive elementene uran, thorium og kalium. Det betyr at man får fordelingen av de ulike radioaktive grunnstoffene i hele området, og man kan relatere denne fordelingen til geologien i Fensfeltet. Fordi radon fra urankjeden er mest helsefarlig, er andelen av uran svært viktig informasjon for å vurdere helsefaren fra de forskjellige radioaktive bergartene. Dessuten har man muligheten til å skille mellom strålingsnivåene som går ut fra berggrunnen og fra slagghaugene.

2. GEOLOGI OG GRUVEANLEGG

2.1 Geologi

Geologien i Fensfeltet er beskrevet mer eller mindre detaljert i flere avhandlinger (f. eks. Brøgger, 1921, Dahlgren, 1983, Ramberg et al. 2007), og vi gir her bare en grov oversikt.

Bergartene i Fensfeltet er dannet ved en uvanlig type vulkansk aktivitet for 550-600 millioner år siden. Tilførselsrøret til en vulkan som lå høyere oppe omfatter i dag et område på 4-5 km² på overflaten. Røret består stort sett av karbonater dannet ved størkning av smeltemasser (Karbonitteter: *Rødberg*, *rauhaugitt* og *søvitt*). Flere av disse bergartene har en stor andel av sjeldne jordartselementer og radioaktive grunnstoffer som er ansvarlig for de høye naturlige gammastrålingene i området. Thoriumkonsentrasjonen er spesielt høy i flere av de vulkanske bergartstyper (rødberg, rauhaugitt), men også uran finnes i betydelige mengder i de fleste bergarter (Dahlgren, 1983). Det vulkanske området er omgitt av "vanlige" granittiske og feltspatrike gneiser.

Siden Ulefossområdet har hevet seg omtrent 140 m i løpet av de siste 10.000 år, var området dekket av havvann etter siste istid (Bergstrøm, 1984). Derfor er store deler av Fensfeltet

dekket av opptil flere 10-talls meter mektige havavsetninger bestående hovedsaklig av leire og silt. Den kjemiske sammensetning er bare i liten grad influert av de lokale bergartene og ingen høye uran- eller thoriumkonsentrasjoner finnes i disse havsetningene (Bergstrøm, 1984).

2.2 Gruveanlegg

I "Fæhnsgruberne", som lå i østre del av Fensfeltet (Rødberg), ble det startet gruvedrift på jernmalm allerede i 1652 og driften varte til 1920-årene. Malm fra Gruveåsen ble levert til jernverket i Ulefoss (Dahlgren, 1983). Relativ høy gammastråling på jernverkstomta skyldes slagg som ble produsert fram til 1927.

I 1950-60 årene var det dessuten gruvedrift etter det sjeldne metallet niob i Søve Gruve, som ligger i den nordlige delen av Fensfeltet. Utvinning ble foretatt både i dagbrudd ("Cappelenbruddet") og underjordisk (Dahlgren, 2005). Slagg og "vaskerijord" fra denne driften er funnet i to mindre områder ved ferroniobverket (Dahlgren, 2005). Et par hundre meter vest fra "Cappelenbruddet" befant seg "Hydrobruddet". Norsk Hydro utvant kalkstein for produksjon av kunstgjødsel fra "Hydrobruddet" fram til 1965. Dessuten ble drevet etter niobmineraler i "Tuftebruddet" (ved *Tufte* sør for *Søve*) og en horisontal transportstoll ble gravet vest for "Hydrobruddet" til "Tuftebruddet".

Rapporten fra Dahlgren (2005) beskriver ferroniobproduksjonen på *Søve* og miljøfaren knyttet til dens lavradioaktive avfall i dag.

3. HELIKOPTERMÅLINGER OG DATAPROSESSERING

Helikoptermålingene ble utført den 27. oktober i 2006, og dekker et området på omtrent 20 km² som omfatter det vulkansk pregede Fensfeltet samt hele tettstedet Ulefoss (se Figur 1). For å få en jevn og tett dekning, ble målinger utført langs parallelle linjer med en linjeavstand på 50 m. Den gjennomsnittlige målehøyden var 45 m. Gjennomsnittlig måle-hastighet var 70 km/t, noe som gir en punktetthet på ca 20 meter langs linjene. På grunn av målegeometrien representerer hvert målepunkt stråling fra et areal på ca 80 x 100 meter.

Nøyaktig prosessering av radiometriske data er relativt tidkrevende og omfatter flere trinn (IAEA, 2003). Først ble ukorrelert støy i data redusert (Minty & Hovgaard, 2002). Deretter ble innflytelsen fra strålingen fra helikopter, verdensrommet og luftbåren radon (Minty, 1998) tatt bort. I tillegg til dette ble strålingsandelene fra kalium-, uran- og thoriumkjeden separert. Data ble korrigert for målehøyde og topografiske effekter (Schwarz et al., 1993). Til slutt ble verdiene omregnet til bakkekonsentrasjoner uran (ppm), thorium (ppm) og kalium (%). De fleste parameterne som ble brukt for de forskjellige korreksjonene er listet i en tidligere NGU rapport (Rønning et al., 2002).

Oversikt over flymålinger



Figur 1. Kart fra Fensfeltet. De svarte linjene viser forløpet til opptak av de radiometriske måledata.

Den tekniske rapporten fra den IAEA (2003) gir en god og detaljert oversikt over den generelle prosesseringen av radiometriske helikopterdata.

4. RESULTATER

Figur 2 viser kart med konsentrasjoner av de naturlige isotopene a) thorium b) uran og c) kalium, som er bestemt fra radiometriske helikoptermålingene. Det er også utarbeidet kart i målestokk 1: 10.000 som viser fordelingen av disse elementene i detalj. Konsentrasjonene av thorium og uran angis in ppm¹ (parts per million, gram per tonn bergart) og konsentrasjonen av kalium angis i prosent. Man kan se i figurene 2a og 2b at konsentrasjonsnivåene av uran og thorium varierer veldig sterkt innenfor det undersøkte arealet. Det skyldes den komplekse geologien (se figur 3a), store variasjoner i kvartærgeologien (se figur 3b) og stor menneskelig aktivitet (gruveanlegg, osv.) i Fensfeltet.

Områder som er dekket av havavsetninger og myr viser mye mindre stråling enn områder der berggrunnen eller dennes forvittringsmaterialer har utgående. Årsaken til dette er at selv tynne avsetninger av noen få desimeter finkornet materiale (leire/silt) demper mye av gammastrålingen fra de uran-/thoriumrike berggartene (se figurene 2 og 3b) (IAEA, 2003).

¹ Bemerkning: Strengt tatt er ikke uran- og thoriumkonsentrasjonene som bestemmes ved prosesseringen av gammaspespektrometerdata, men i stedet konsentrasjonen av datterisotoper (Bi-214 og Tl-208) i kjedene. Fordi man kan anta at forholdet mellom konsentrasjonen av uran/thorium og datterisotopene deres er konstant, kan uran- og thoriumkonsentrasjoner vurderes fra disse datterisotopene. Derfor er brukte enheter i figur 2a) og 2b) ppm eU og ppm eTh istedenfor ppm U og ppm Th og "e" står for "ekvivalent". Videre i teksten vil vi bare angi uran- og thoriumkonsentrasjon i ppm.

Hvis man bare betrakter arealer hvor bart fjell og forvittringsmateriale fra bart fjell befinner seg på overflaten (se figurer 3b), ser man ulikheter i thorium- og urankonsentrasjoner i forskjellige områder (figurer 2a og 2b):

- I den østlige *Gruveåsen* og området rundt *Bolladalen* består berggrunnen av "rødberg" og rauhaugitt som har svært høye thoriumkonsentrasjoner (opptil 1060 ppm) og samtidig høye urankonsentrasjonen (opptil 25.1 ppm).
- Vest for dette området dominerer bergarten rauhaugitt og thorium- og urankonsentrasjonene er ikke like høye (opptil 368 ppm Thorium og 13.7 ppm Uran).
- Området rundt *Rullekollhaugen* og vest for *Fensmyra* består av forskjellige bergartstyper (rauhaugitt, "rødberg" og damtjernitt), som viser veldig høye thoriumkonsentrasjoner (opptil 586 ppm) og høye urankonsentrasjoner (opptil 27.3 ppm). Nivået på thoriumkonsentrasjonen er her betydelig lavere enn rundt den østlige *Gruveåsen*.
- Området sør fra Vipeto består vesentlig av søvitt, damtjernitt og melteigitt og viser høye urankonsentrasjoner (opptil 17.4 ppm), men betydelig lavere thoriumkonsentrasjoner enn i de andre to områdene (opptil 155 ppm).
- I nærheten av Søve gruver finnes to områder med relativt høye urankonsentrasjoner (opptil 9.9 ppm) men med også relativt høye thoriumkonsentrasjoner (opptil 68 ppm). Bergartstyper i dette området er fenitt og søvitt. Anomalien lengst øst av disse to omfatter arealet hvor den uranrike slagghaugen, "vaskerijorden" og "Cappelenbruddet" ligger (Dahlgren, 2005). Anomalien lengst vest ligger like ved "Hydrobruddet" (Dahlgren, 2005).
- Det finnes noen små områder (A, B, C i figur 2a og 2b) som viser litt høyere thorium-/urankonsentrasjoner enn vanlig (opptil A: 30 ppm, B: 55 ppm, C: 65 ppm thorium og opptil A: 5.6 ppm, B: 7.4 ppm, C: 6.0 ppm uran). I disse områdene finnes små arealer (se figur 3a) hvor forvittringsmaterialet er synlig på overflaten og berggrunnen består av søvitt (anomali A og B) eller "rødberg" og rauhaugitt (anomali C). Anomalien B ligger ved *Tufte-gårdene* mens anomalien C ligger like ved *Holla* kirke.

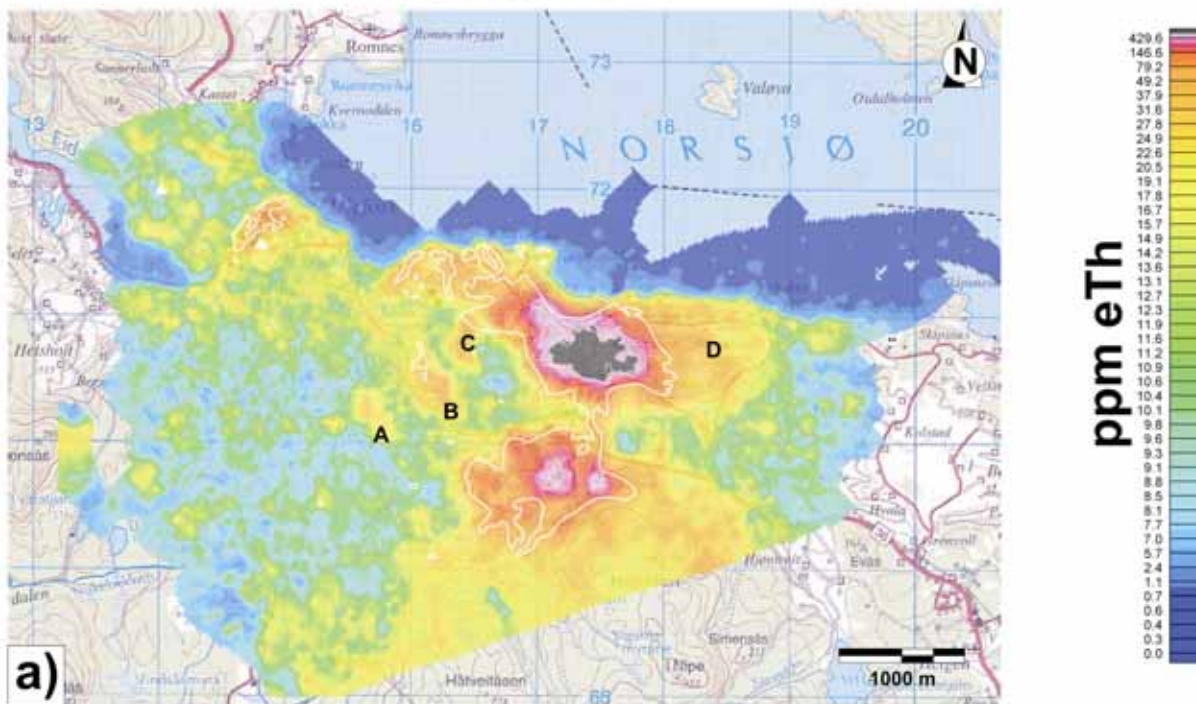
I området ved det gamle jernverket ved Ulefoss fremstår tydelige konsentrasjoner av thorium (opptil 111 ppm) og uran (opptil 5.2 ppm). Opprinnelsen for de tydelige uran- og thoriumkonsentrasjonen er her slaggmaterialet.

Kaliumkonsentrasjonene er ikke uvanlig høye i området (overalt < 8.5 %, se figur 2c), og resultatene fra kaliumkartet tolkes derfor ikke detaljert i denne rapporten. Det skal bare nevnes at kaliumkonsentrasjonen i de feltspatrike granittiske gneisene er høyest, som forventet. Dessuten vil vi gjøre oppmerksom på at usikkerheten i kaliumkonsentrasjonen er stor i områder med meget høy thoriumkonsentrasjon. Grunnen til dette er at unøyaktigheter i prosesseringen kan føre til stor påvirkning fra thorium i kaliumkanalen.

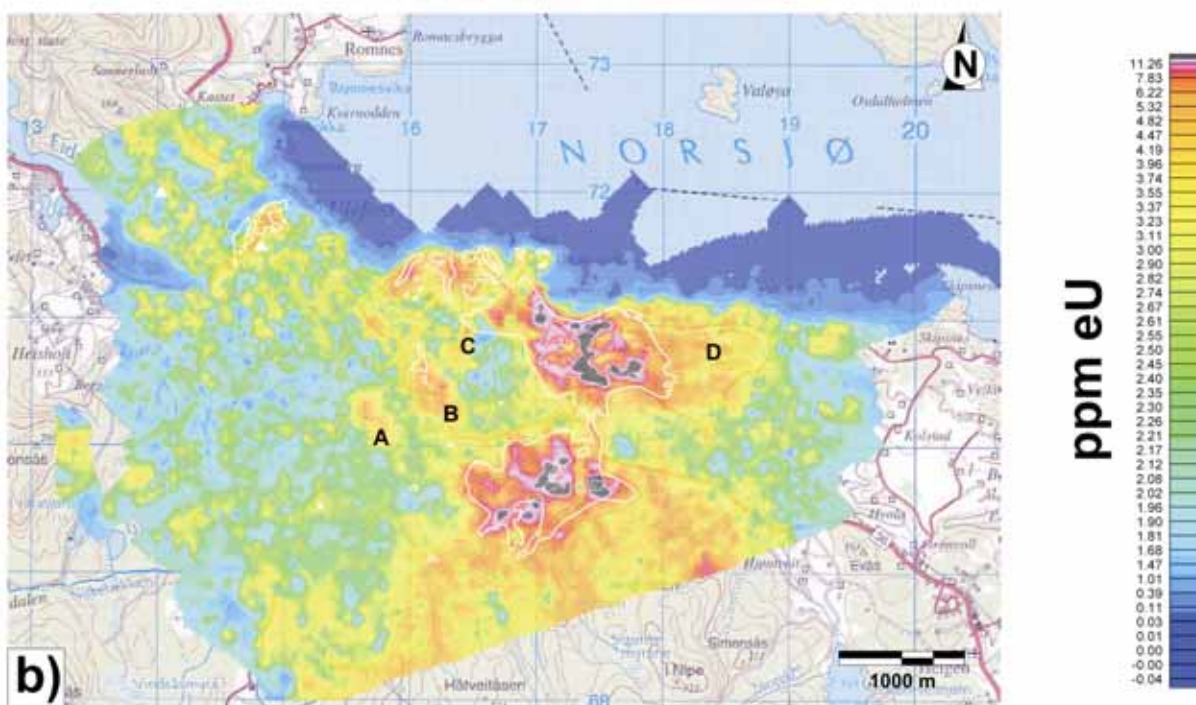
Man kan sammenfatte at størstedelen av den målte strålingen skyldes thoriumkonsentrasjonene i de vulkanske bergartstypene. Men overalt er høye thoriumkonsentrasjoner knyttet sammen med betydelige urankonsentrasjoner. Dessuten varierer thorium-/urankonsentrasjonsnivåer svært med endringer i berggrunnsgeologi og overdekning. En mer kvantitativ oversikt over thorium-/urankonsentrasjonene i de forskjellige bergartstypene er gitt i avsnittet nedenfor, der resultatene fra helikoptermålingene blir sammenlignet med data fra laboratoriemålinger.

Naturlig radioaktivitet beregnet ned til bakken:

Thorium

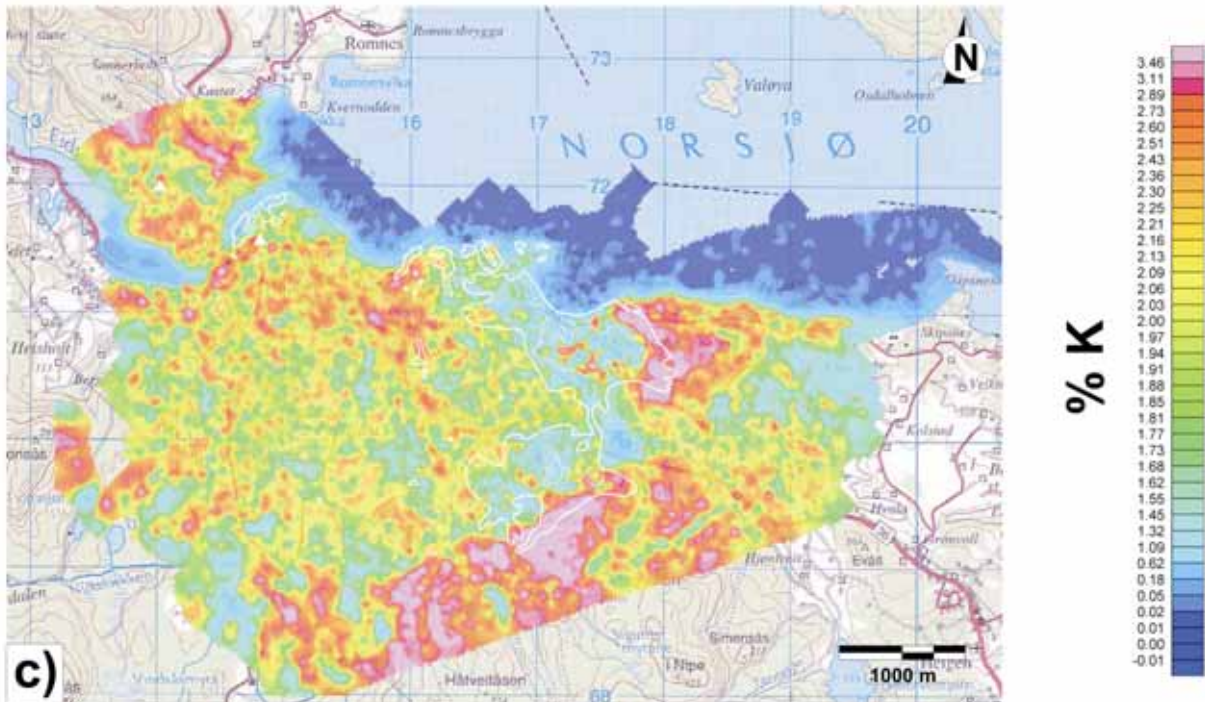


Uran



Figur 2a) og b). Figurtekst neste side

Kalium



Figur 3. Konsentrasjonen av de naturlige isotopene a) thorium b) uran og c) kalium på bakken, bestemt fra helikoptermålingsdata etter dataprosessering, er vist i tre forskjellige fargeplott. Områder med mer enn 560 ppm thorium og 13 ppm uran er visst i svart. Gjennomgående og stiplede hvite linjer skisserer områder med strålingsintensitet $> 20 \mu\text{R/h}$ og $> 100 \mu\text{R/h}$, bestemt fra de tidligere feltmålingene (Dahlgren, 1983). Bokstaver A, B, C og D indikerer anomalier som er ikke eller bare delvis bestemt fra de tidligere feltmålingene. Hvite trekantede områder indikerer Holden og Ulefoss hovedgård som er bygget av blokker støpt av slagg fra jernverket og dermed har høy gammastråling.

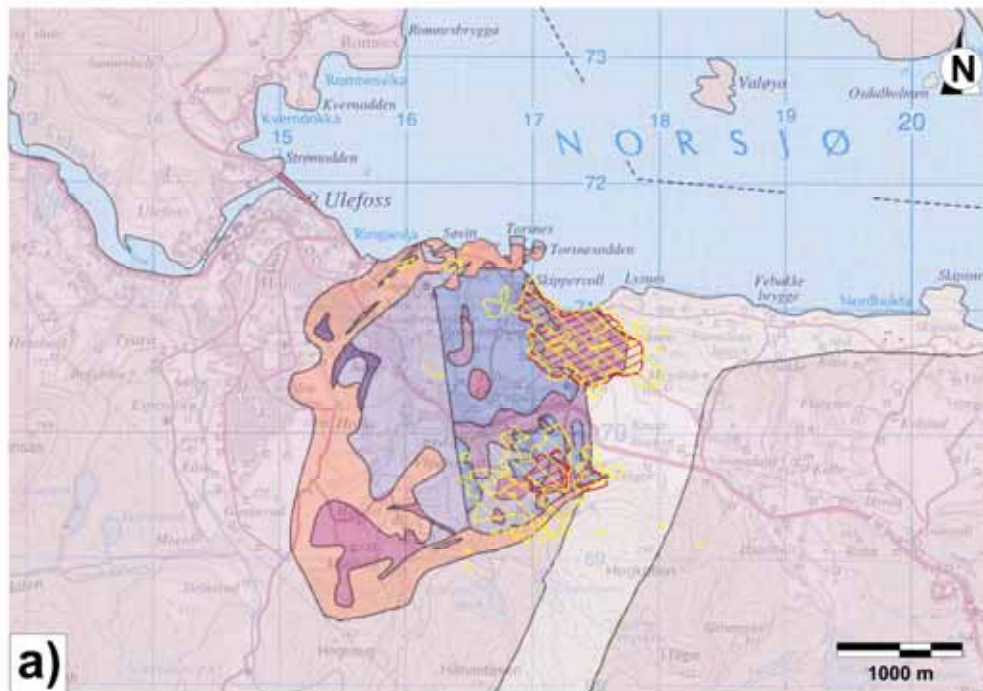
4.1 Sammenfatning av andre observasjoner fra helikoptermålinger


- Radonnivået fra den første måleturen viser at lufradonnivået kan være høyt i området. Likevel skulle det betraktes bare som en indikasjon og ikke som kvantitativ informasjon, fordi radon i luften varierer sterkt med værforhold og fuktighet i jorda.
- Den østlige delen av Gruveåsen, som består av granittske bergarter men ligger i nærheten av "rødberg"-litologien viser veldig høye thorium- og urankonsentrasjoner (opptil 700 ppm thorium og 17.9 ppm uran) (se figur 3a). Årsaken kan være den begrensede romlige oppløsningen av helikoptermålingene, men det kan også ha en geologisk forklaring (f.eks. diffusjonsprosesser, blanding av forvitningsmaterialer, osv.). Til og med område D (i figur 2a og 2b), som ligger opptil 1 km øst fra "rødberg", har betydelige andeler av thorium og uran (opptil ~ 130 ppm thorium og ~ 9 ppm uran).
- Morenemateriale finnes vesentlig i den sørlige delen av det målte arealet og viser omtrent de samme thorium- og urankonsentrasjonene som de granittske gneisene i umiddelbart nærhet av morene (se figurene 2a, 2b, 3a og 3b). Bergstrøm (1984) viser

at det finnes vanligvis en klar sammenheng mellom den kjemiske sammensetning i morenen og underliggende berggrunnen.

- Det finnes en svak korrelasjon mellom ferdselårer og litt økt thorium- og urankonsentrasjoner i Fensfeltet.

Geologisk kart (forenklet etter NGUs database, 2007)



-  > 250 ppm eTh bestemt fra flymålinger
-  > 7 ppm eU bestemt fra flymålinger

Tegnforklaring til berggrunnsgeologisk kart





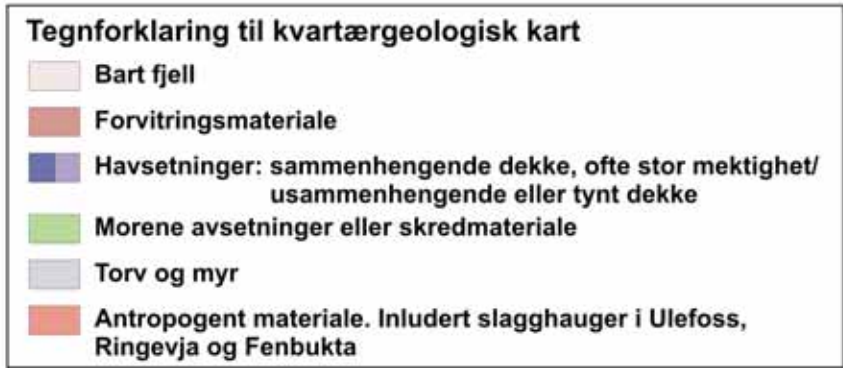
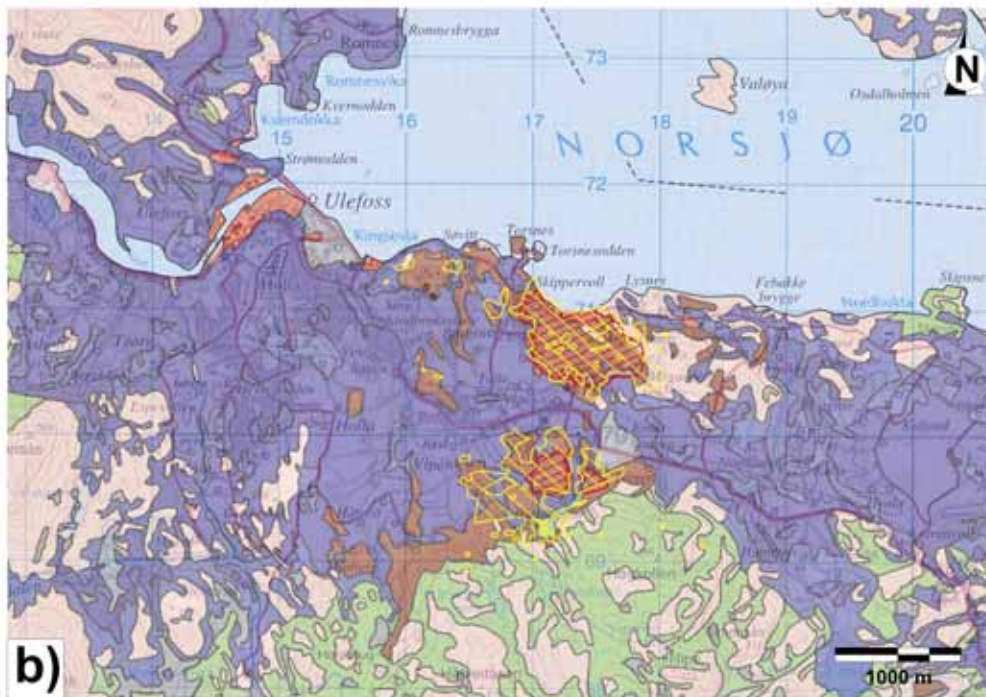
-  "Rødberg"
-  Rauhaugitt
-  Søvitt og beslektede bergarter
-  Melteigitt, ljoitt, Vipetoitt og Damkjernitt
-  Fenitt
-  Granitiske gneiser og amfibolitt/ kvarts- og feltspatrike gneiser

Figure 4a). Figurtekst neste side.

Kvartærgeologisk kart

(forenklet etter NGUs database, 2007)



Figur 5. Forenklet a) bergrunnsgeologisk og b) kvartærgeologisk kart fra Fensfeltområdet. Røde og gule linjer fremhever områder med høy thoriumkonsentrasjon (> 250 ppm) og signifikante urankonsentrasjoner (> 7 ppm) bestemt fra helikoptermålingsdata.

4.2 Sammenligning av resultatene fra helikopter- og tidligere feltmålinger

Det er et veldig interessant resultat at arealer med en thoriumkonsentrasjon > 290 ppm har nesten den samme utstrekning som områder med gammastrålingsintensitet > 100 µR/h fra de tidligere feltmålingene (se figur 2a). Dessuten omfatter arealet med gammastrålingsintensitet > 20 µR/h nesten alle områder med høyere thorium- og urankonsentrasjoner enn henholdsvis 40 og 4 ppm. Anomalier som ikke eller bare delvis er bestemt fra de tidligere feltmålingene er markert med A, B, C og D i figurer 2a og 2b. Det viser at utstrekningen av områder med høyt uran- og thoriuminnhold allerede er nøyaktig bestemt fra de tidligere feltmålingene.

4.3 Sammenligning thorium- og urankonsentrasjonen fra helikopter- og lab-målinger

Tabell 1 viser variasjoner i thorium-/urankonsentrasjoner fra det innsamlede materialet, gammastrålingsintensiteten fra den tidligere feltmålingen og uran/thorium konsentrasjoner bestemt fra helikoptermålinger for de ulike bergartstypene.

Bergartstype	Prøve- materiale: Gram thorium pr. tonn bergart*	Prøve- materiale: Gram uran pr. tonn bergart*	Feltemålinger 1983: Gammastrålin- gs-intensitet i µR/h*	Helikopter- målinger: Gram thorium pr. tonn bergart**	Helikopter- målinger: Gram uran pr. tonn bergart**
Granittisk gneis	2.5 – 31.0	1.3 - 9.0	5 – 20	5.3 - 141.0 (28)****	0.8 – 13.3 (3.8)****
Fenitt	~ 10	~ 2.5	10 – 20	8.2 - 44.2 (20)	1.7 – 7.8 (3.9)
Søvitt, Melteigitt o.l.	1 – 50	1 – 60	10 – 50	Søvitt: 10.3 - 150 (56) Melteigitt o.l.: 8.3 - 390 (50)	Søvitt: 1.9 - 17.5 (7.1) Melteigitt o.l.: 1.4 – 17.1 (4.5)
Rauhaugitt	< 2000	?	120 – 450	17.7 - 545 (232)	2.1 – 22.6 (9.1)
Rødberg (Gruveåsen, Fenbukta)	560 – 3000	5 – 40	120 - 450	183 - 1060 (600)	1.8 - 25.1 (10.7)
Rødberg (Vipeto, Fensmyra)	160 – 330	3.5 – 20	40 – 80	33.4 - 586 (229)***	4.0 – 27.3 (10.8)***

* Data fra Dahlgren, 1983

** Middelerverdier er vist i parentes

*** fra Vipeto, Fensmyra og Rullekoll

****Gneiser fra Gruveåsen i umiddelbar nærhet av "Rødberg" er ikke tatt med

Tabell 1. Thorium-/urankonsentrasjoner og gammastrålingsintensiteten for ulike bergartstypene i Fensfeltet bestemt fra de forskjellige målingene.

Estimering av uran/thoriumkonsentrasjoner fra helikoptermålinger har en relativt stor unøyaktighet. Bare områder med bart fjell på bakken og forvittringsmateriale ble tatt med i denne beregningen. Likevel kan det ikke utelukkes at noen områder er dekket av tynne avsetninger som demper gammastrålingen fra bergartene betraktelig. Dessuten er berggrunnsgeologien i Fensfeltområdet kompleks og flere forskjellige bergartstyper befinner seg innenfor et forholdsvis lite areal. Forvittringsmateriale fra bergartstyper med høy konsentrasjon av uran/thorium kunne være blandet med bergarter med lavere uran/thoriuminnhold i tilstøtende områder og kan gi høyere strålingsverdier enn forventet for

disse bergartstypene. Resultater fra helikoptermålinger har dessuten alltid begrenset nøyaktighet og romlig oppløsning på grunn av målegeometrien og prosesseringen. Derfor kan thorium-/uran konsentrasjonene fra helikoptermålinger bare betraktes kvalitativt.

Hvis man sammenligner måledata med prøvematerialet, må man dessuten huske at de to målingene gir informasjon på forskjellige skalaer. Prøvematerialet gir nøyaktig informasjon fra et enkelt bergart, mens helikoptermålinger viser en gjennomsnittsverdi for bergarter av et større området på overflaten (ca 80 x 100 meter).

Sammenligning av resultatene fra prøvematerialet og helikoptermålingene viser at:

- For rødberg (fra Gruveåsen og Fenbukta) og rauhaugitt er thoriumkonsentrasjonene bestemt fra helikoptermålingene litt mindre enn konsentrasjonene fra prøvematerialet. Likevel er thoriumkonsentrasjonene bestemt fra helikoptermålingene usedvanlig høye. For rødberg (fra Vipeto, Fensmyra) er thoriumkonsentrasjonene som er bestemt fra prøvemateriale og fra helikoptermålinger like høye.
- For de andre bergartstypene er thoriumkonsentrasjonene som er bestemt fra helikoptermålingene litt høyere enn konsentrasjonene fra prøvematerialet. For søvitt og melteigitt er maksimalkonsentrasjonen delvis til og med betydelige høyere. Mulige grunner til dette er beskrevet ovenfor.
- For rødberg (fra Gruveåsen og Fenbukta), søvitt (og beslektede bergarter) er urankonsentrasjonene som er bestemt fra helikoptermålingene litt mindre eller omtrent like høye enn fra prøvematerialet.
- For de andre bergartstypene er urankonsentrasjonene som er bestemt fra helikoptermålingene og fra prøvematerialet omtrent like høye.
- De bestemte relative relasjonene av uran- og thoriumkonsentrasjonene mellom de forskjellige bergartstypene er veldig like for laboratoriemålingene og helikoptermålingene. Dessuten viser strålingsintensiteten fra de tidligere feltmålingene omtrent den samme trenden mellom bergartstyper som thoriumkonsentrasjonen fra helikoptermålingen.

Hvis man betrakter den begrensede oppløsningen fra helikoptermålingene, passer konsentrasjonene fra helikoptermålingene bra sammen med konsentrasjonene fra laboratoriene for de forskjellige bergartstypene.

Kombinasjon av konsentrasjonene fra alle tre metodene (prøvematerialet, feltmålinger fra 1983 og helikoptermålinger) viser at rødberg og rauhaugitt har meget høyt thoriuminnhold og mye mindre, men likevel betydelige mengder uran. Søvitt har klart mindre innhold av thorium enn rødberg og rauhaugitt, men inneholder nesten samme mengde uran. Da radongass fra uranserien er mer helsefarlig enn radongass fra thoriumserien, bør ikke risikoen i forbindelse med utstråling fra søvitt undervurderes. Fenitt har middels høye uran- og thoriuminnhold. De granittiske gneisene har relativt høye thorium- og urankonsentrasjoner, men uran- og thoriuminnholdet av granittiske gneiser i Sør-Norge varierer ganske sterk og de bestemte verdiene befinner seg innenfor den vanlige variasjonsbredden.

5. KONKLUSJONER

De radiometriske helikoptermålingene gir tre kart med den nøyaktige radiometriske fordelingen av thorium-, uran- og kaliumkonsentrasjoner på overflaten i Fensfeltet og ved Ulefoss. Resultatene fra helikoptermålingene viser at den høye gammastrålingen først og fremst skyldes de veldig høye thoriumkonsentrasjonene (opptil ~ 1060 ppm). Svært høye thoriumkonsentrasjoner i Fensfeltet er alltid knyttet til betydelige urankonsentrasjoner (opptil ~ 27 ppm). Nivåene av thorium- og urankonsentrasjoner varierer sterkt i de forskjellige områder og for de ulike bergartstypene. Områdene som består av "rødberg" og rauhaugitt, viser de høyeste thorium-/urankonsentrasjonene. Men også konsentrasjonene av uran i søvitt er signifikant. Fordi det helsefarlige radon (Rn-222) dannes i urankjeden, er disse urankonsentrasjonene i berggrunnen en viktig informasjon for å vurdere helsefaren i Fensfeltet.

Utstrekningen av områder med høye thoriumkonsentrasjoner (> 290 ppm) er veldig lik området med den høye strålingsintensiteten (> 20 µR/h) bestemt fra de tidligere feltmålingene. Ingen store nye områder, som viser høye thorium- eller urankonsentrasjoner, er funnet. Store deler av Fensfeltet er dekket med havavsetninger, og det er veldig sannsynlig at store områder med høye thorium- og uran konsentrasjonen fra de vulkanske bergartstypene er skjult. I områder hvor havavsetninger er tynne kan derfor graving av byggegrøper avdekke radioaktive bergarter.

For å tolke resultatene fra helikoptermålingene mer detaljert, er det nødvendig å ha god kjennskap til Fensfeltet (menneskelige inngrep, slagghauger, gruveanlegg, bruk av pukk til veiformål, osv.) i tillegg til småskala variasjoner i geologien (løssmasser og berggrunn). NGU har ingen forutsetninger for å vurdere helserisiko knyttet til den radioaktive strålingen.

6. REFERANSER

Bergstrøm, B. 1984: Nordagutu. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart. *NGU Skrifter 57*

Brøgger, W.C. 1921: Die Eruptivgesteine des Kristallingebietes. 4. Das Fengebiet in Telemark. *Norwegen. Vid. Sels. Skr. 9. 1-402.*

Dahlgren, S. 1983: Naturlig radioaktivitet i berggrunnen; Gamma-strålingskart. Fensfeltet, Telemark. M. 1:10 000. "Prosjekt temakart, Telemark"

Dahlgren, S. 2005: Miljøgeologisk undersøkelse av lavradioaktivt slag fra ferroniobproduksjonen på Søve 1956-1965. *Regiongeologen for Buskerud, Telemark og Vestfold*. Rapport nr.1.

IAEA, 2003: Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363, Wien, Østerrike.

Minty, B.R.S. 1998: Multichannel models for the estimation of radon background in airborne gamma-ray spectrometry. *Geophysics* 63, 1986 - 1996.

Minty, B.R.S. and Hovgaard, J. 2002: Reducing noise in gamma-ray spectrometry using spectral component analysis. *Exploration Geophysics* 33, 172 - 176.

Ramberg, I.B., Bryhni, I. og Nøttvedt, A. 2007: Landet blir til – Norges geologi. Norsk Geologisk forening.

Schwarz, G.F., Klingele, E.E. og Rybach, L. 1992: How to handle rugged topography in airborne gamma-ray spectrometry surveys. *First Break* 10, 11 - 17.

Rønning, J.S., Walker, P., Kihle, O. og Mogaard, J.O. 2002: SKB site investigations. Helicopter borne geophysics at Simpevarp, Oskarshamn, Sweden. NGU Report 2002.094.

Smethurst, M., Strand, T., Finne, T.E. og Sundal, A.V. 2006: Gammaspektrometriske flymålinger og radon. Strålevern Rapport 2006:12.

Sluttord

En takk til Sven Dahlgren og Bjørn Ivar Rindstad for å ha levert viktig litteratur og annet materiale om Fensfelt.



Nome kommune



MÅLESYSTEM

Exploranium GR-820 Airborne Spectrometer, Krystallvolumet: 16 liter

UTFØRELSE

Målinger er utført fra helikopter langs parallelle linjer
Linjeavstand: ~ 50 m
Måle høyde: ~ 45 m

NAVIGASJON

- Området er målt ved hjelp av GPS-satellitt-navigasjon
- Høyde over bakken er målt med radaraltimetri

PROSESSERING

- 1) Redusering av tilfeldig sløy
- 2) Korreksjon for stråling fra helikopter og verdensrommet
- 3) Separasjon av strålingsandelene fra kalium, uran- og thoriumkjedene
- 4) Korreksjon for stråling fra luftbåren radon
- 5) Korreksjon for måle høyde og topografiske effekter
- 6) Korreksjon for residuale feil i data
- 7) Omregnet til bakkekonsentrasjoner: uran (ppm), thorium (ppm) og kalium (%)

KARTFREMSTILLING

- Kartet er fremstilt med programsystemet GEOSOFT
- Kartgrunnlag: Statens Kartverks FK8 data etter tillatelse

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

THORIUM

Farge

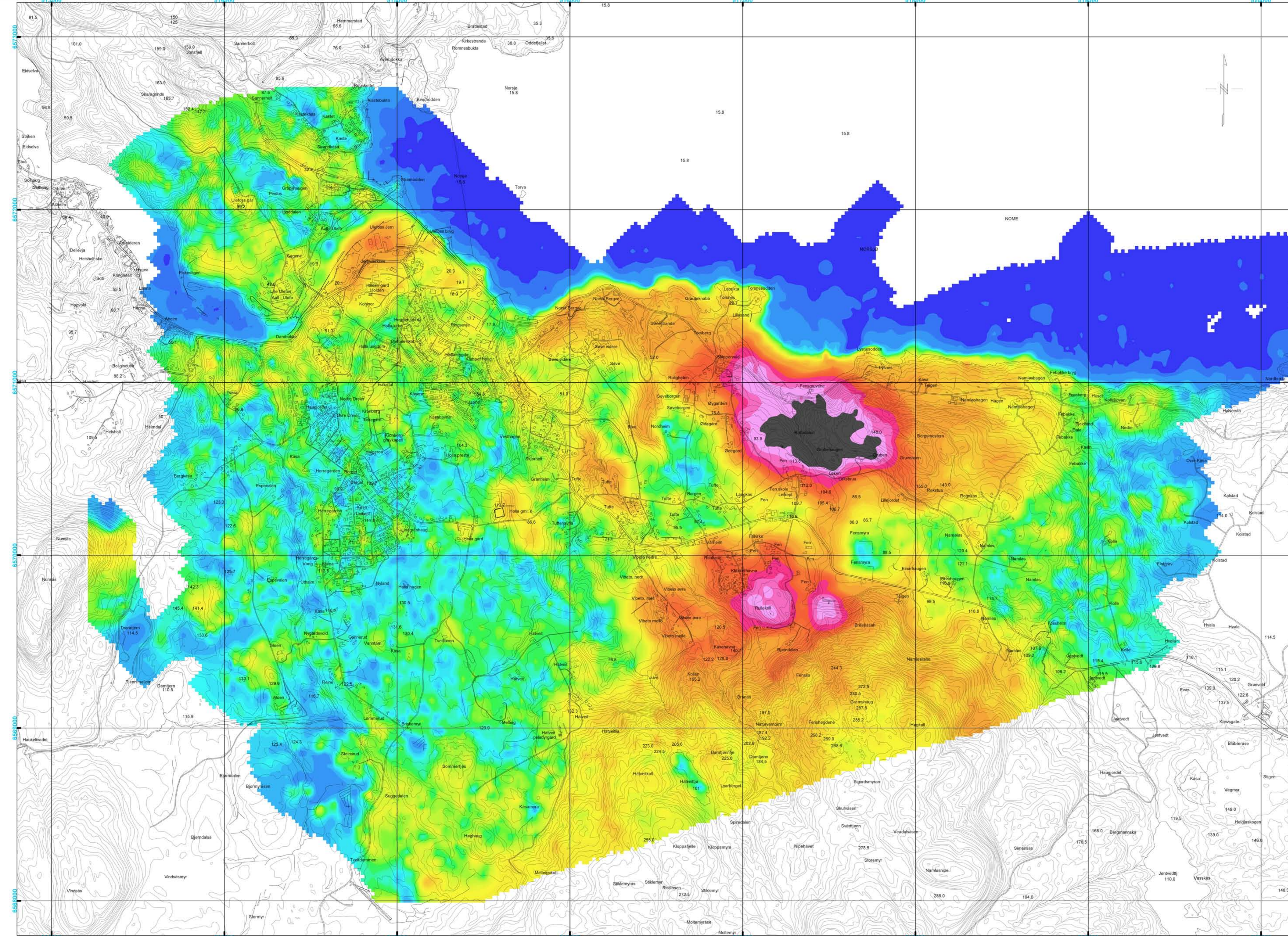
Ulefoss

Telemark

Drawing: **Mogaard, J.O.; Heincke, B.H.** Date: **MAR 2007** Obs: **JOM**

Skala 1:10 000 Kartblad (1:50 000):

200 0 200 400 600
(meter)



Radiometrisk Thorium (Tl208)
i ppm (parts per million)



GEOGNETISKE DATUM: WGS84
KONFORM SYLINDERPROJEKSJON
Tall i BLÅTT for UTM koordinater, sønn 32N



Nome kommune



MÅLESYSTEM

Exploranium GR-820 Airborne Spectrometer, Krystallvolumet: 16 liter

UTFØRELSE

Målinger er utført fra helikopter langs parallelle linjer
Linjeavstand: ~ 50 m
Måle høyde: ~ 45 m

NAVIGASJON

- Området er målt ved hjelp av GPS-satellitt-navigasjon
- Høyde over bakken er målt med radaraltimetri

PROSESSERING

- 1) Redusering av tilfeldig støy
- 2) Korreksjon for stråling fra helikopter og verdensrommet
- 3) Separasjon av strålingsandelen fra kalium, uran- og thoriumkjeden
- 4) Korreksjon for stråling fra luftbåren radon
- 5) Korreksjon for måle høyde og topografiske effekter
- 6) Korreksjon for residuale feil i data
- 7) Omregnet til bakkekonsentrasjoner uran (ppm), thorium (ppm) og kalium (%)

KARTFREMSTILLING

- Kartet er fremstilt med programsystemet GEOSOFT
- Kartgrunnlag: Statens Kartverks FKB data etter tillatelse

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Uran
Farge

Ulefoss
Telemark

Drawing: **Mogaard, J.O.; Heincke, B.H.** Date: **MAR 2007** Obs: **JOM**

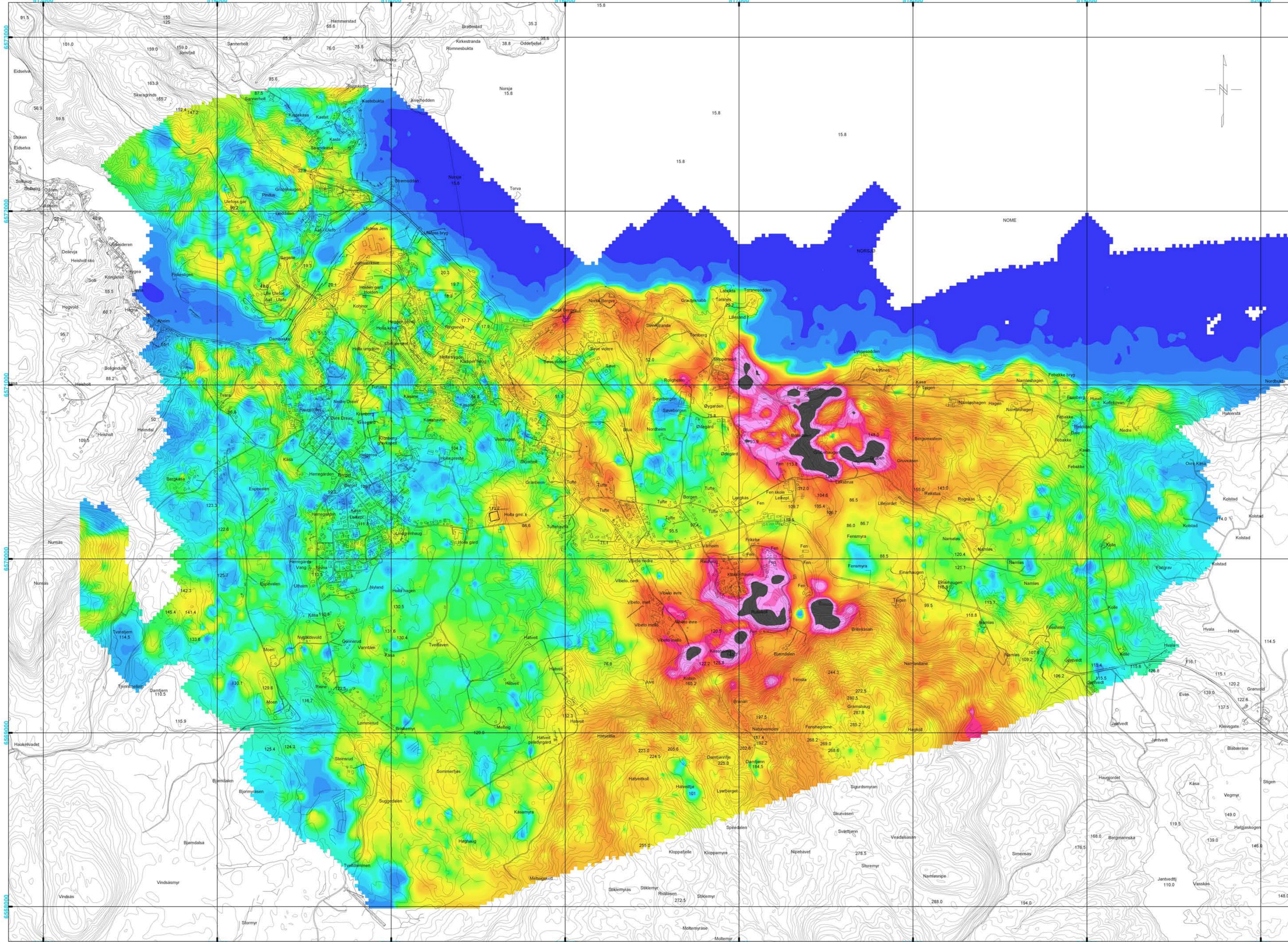
Skala 1:10 000 Kartblad (1:50 000):

200 0 200 400 600
(meter)

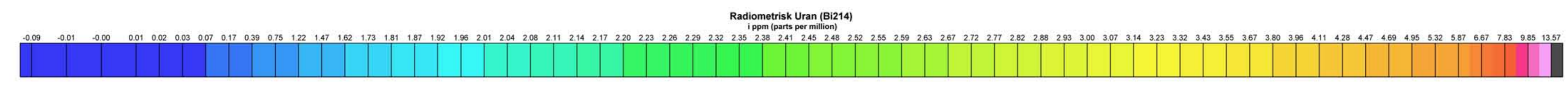


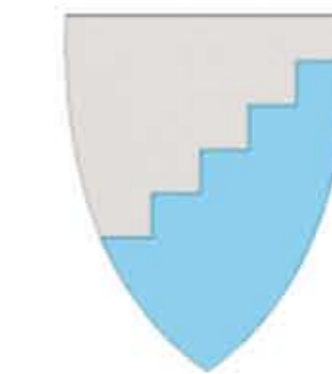
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Leiv Eirikssons vei 39
N-7481 TRONHØJEM
Tel +47-73 90 40 00, Fax +47-73 92 16 20
http://www.ngu.no

Drawing no:
2007.021-02



GEOIDETISKE DATUM: WGS84
KONFORM SYLINDERPROJEKSJON
Tall i BLÅTT for UTM koordinater, søne 32N





Nome kommune



MÅLESYSTEM

Exploranium GR-820 Airborne Spectrometer, Krystallvolumet: 16 liter

UTFØRELSE

Målinger er utført fra helikopter langs parallelle linjer
Linjeavstand: ~ 50 m
Måle høyde: ~ 45 m

NAVIGASJON

- Området er målt ved hjelp av GPS-satellitt-navigasjon
- Høyde over bakken er målt med radaraltimetri

PROSESSERING

- 1) Redusering av tilfeldig støy
- 2) Korreksjon for stråling fra helikopter og verdensrommet
- 3) Separasjon av strålingsandelene fra kalium, uran- og thoriumkilden
- 4) Korreksjon for stråling fra luftbåren radon
- 5) Korreksjon for måle høyde og topografiske effekter
- 6) Korreksjon for residuale feil i data
- 7) Omregnet til bakkekonsentrasjoner: uran (ppm), thorium (ppm) og kalium (%)

KARTFREMSTILLING

- Kartet er fremstilt med programsystemet GEOSOFT
- Kartgrunnlag: Statens Kartverks FK8 data etter tillatelse

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

*Kalium
Farge*

Ulefoss

Telemark

Drawing: **Mogaard, J.O.; Heincke, B.H.** Date: **MAR 2007** Obs: **JOM**

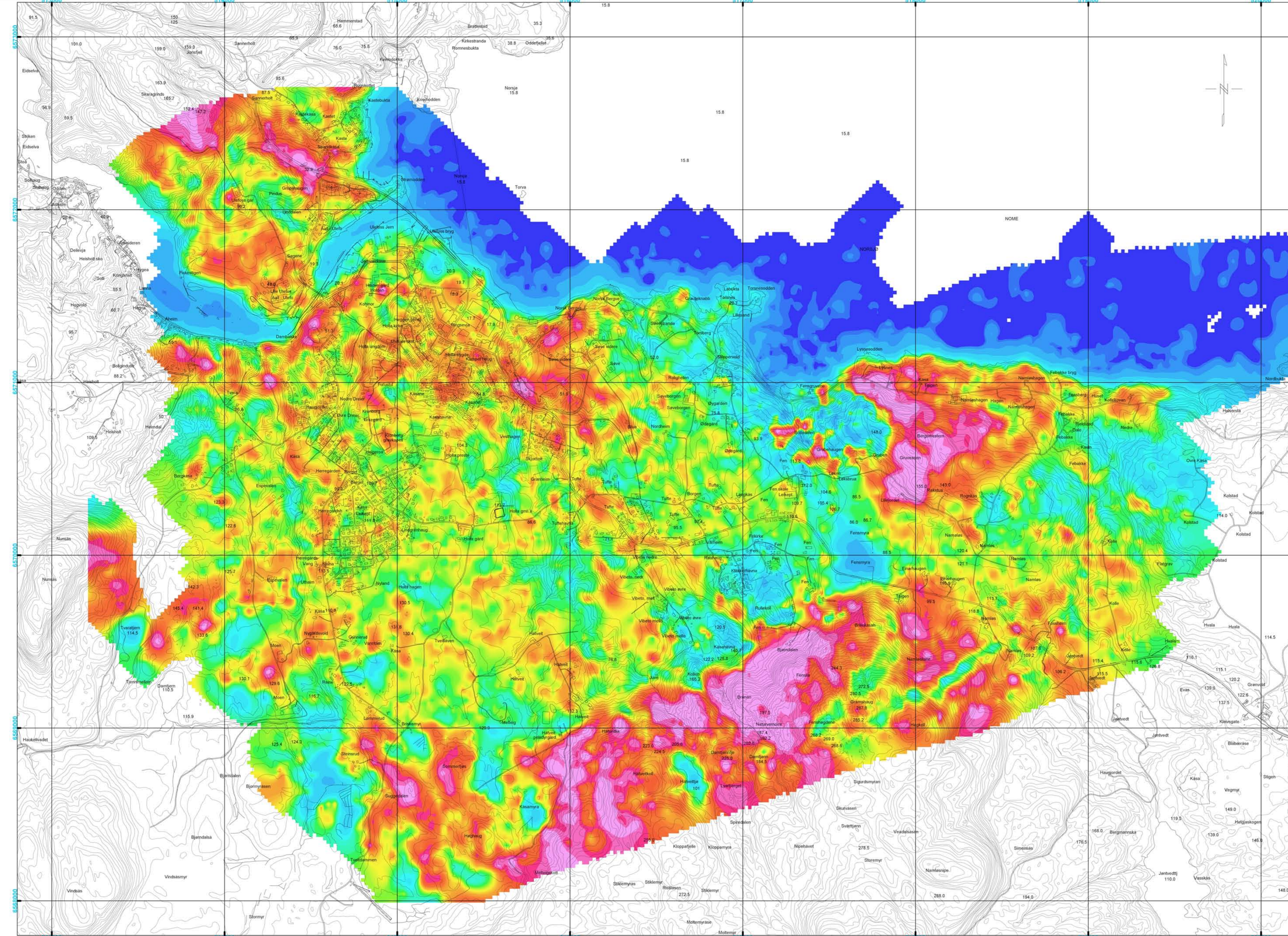
Skala 1:10 000 Kartblad (1:50 000):

1713 IV Nordagutu 1713 IV Nordagutu

NGU NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Leiv Eirikssons vei 39
N-7481 TRONDHØIM
Tel +47-73 90 40 00, Fax +47-73 92 16 20
http://www.ngu.no

Drawing no:

2007.021-03



Radiometrisk Kalium (K40)
i percent (%)

