

12

ALL DIN STREET

THE REAL PROPERTY OF

MILJØGEOLOGISK UNDERSØKELSE AV LAVRADIOAKTIVT SLAGG FRA FERRONIOBPRODUKSJONEN VED NORSK BERGVERK PÅ SØVE 1956-1965

> REGIONGEOLOGEN FOR BUSKERUD, TELEMARK OG VESTFOLD Rapport nr 1, 2005

Secon

10.04

Forord

Som grunneier ønsker Telemark fylkeskommune en full oversikt over eventuelt miljøfarlig avfall etter gruvedriften som staten, ved Norsk Bergverk, foretok på Søve på 1950-60 tallet. Fylkesrådmannen startet høsten 2003 en prosess for å kartlegge mulige miljøfarer pga radioaktivt slagg ved det gamle ferroniobproduksjonsanlegget, samt radioaktiv "jord" på den gamle vaskeritomta til Norsk Bergverk på Søve. Det var naturlig å be regiongeologen for Buskerud, Telemark og Vestfold om en miljøgeologisk vurdering av området og foreslå mulige tiltak.

Med den relativt omfattende undersøkelsen og de vurderingene som foreligger i denne rapporten har Telemark fylkeskommune identifisert eventuelle miljømessige konsekvenser av industriavfallet. Dette danner et grunnlag for det arbeidet som må utføres for å få ryddet opp etter statens bergverksdrift på Søve.

> Skien 8. mars 2005 Rolf-Helge Grønås (sign) Fylkesrådmann Telemark fylkeskommune

Forfatter / faglig utarbeidelse: S. Dahlgren Layout: S. Dahlgren Prosjektavslutning: Mars 2005 Mangfoldiggjøring: Erik Tanche Nilssen, Skien Forsidefoto: Bakgrunn: Dendrittiske krystaller av niob-tantal-uran-thorium-oksid i Søve slagg 1 sett i tynnslip i polarisasjonsmikroskop. Foto: S.Dahlgren Lite foto: Søve Gruver ca 1960. Foto: Ukjent.

MILJØGEOLOGISK UNDERSØKELSE AV LAVRADIOAKTIVT SLAGG FRA FERRONIOBPRODUKSJONEN VED NORSK BERGVERK PÅ SØVE 1956-1965.

Sammendrag

Norsk Bergverk AS var et statlig gruveselskap som drev Søve Gruver AS på Søve, Nome kommune, Telemark fylke, i perioden 1951 til 1965. Gruvedriften var etter det sjeldne metallet niob (Nb). Niob brukes bl.a. som et legeringsmetall i enkelte typer spesialstål.

 P_a^a Sove forekommer niobmineraler i bergarten sovitt. Sovitten inneholder gjennomsnittlig 0,35 % Nb_2O_5 som finnes i mineralene pyroklor (Na,Ca)₂Nb₂O₆(OH,F), kolumbitt (FeNb₂O₆) og fersmitt (Ca,Ce,Na)(Nb,Ta,Ti)₂(O,OH,F)₆. Niobmineralene inneholder mindre mengder uran, thorium, tantal, yttrium og lantanideelementer.

Ved vurdering av mulige miljøkonsekvenser fra industriavfall etter Søve Gruver er det svært viktig å skille mellom restavfall ("avgang") etter produksjonen av niobmineralkonsentrat og produksjonsavfall (slagg) fra fremstillingen av det metallurgiske produktet ferroniob. Fra oppstarten av bergverket fram til 1957 ble det kun produsert niobmineralkonsentrat som i sin helhet ble eksportert til USA. Fra 1958 til driftens nedleggelse i 1965 ble det i tillegg til niobkonsentrat solgt et foredlet produkt, ferroniob, som ble produsert i bergverkets metallurgiske anlegg på Søve.

niobmineralkonsentrat Produksjonen av foregikk i et oppredningsverk etter metoder som er helt standard i alle bergverk: Knusing, "vasking", magnetseparasjon og flotasjon. "Vaskingen" av den knuste bergarten hadde som formål å skille de lette mineralene fra de tunge. Dette foregikk ved hjelp av rennende vann over et vaskebord. De tunge mineralene var niobmineraler, jernoksid, apatitt (fosfat) og sulfider som ble samlet opp og tørket. De lette mineralene, vesentlig kalkspat, samt noe apatitt og glimmer, gikk med vannet til "avgang". Mineralkornene i denne våte avgangen ble avsatt i slamdammer på land i dalsøkket fra Søvebukta og sørover, men mye av avgangen gikk også i Norsjø. Denne avgangen kalket vannet og har åpenbart hatt en miljømessig positiv effekt for fisken i Norsjø. Med avgangen fulgte også niobmineraler, men disse mineralene løser seg ikke engang i salpetersyre ved høy temperatur og representerer ikke noen forurensingsfare for vannet i Norsjø. På den gamle tomta for oppredningsverket er jordsmonnet iblandet niobmineralkonsentrat. Denne "vaskerijorda" er derfor radioaktiv, og tiltak bør derfor utføres.

Ferroniobproduksjonen var en metallurgisk prosess som foregikk i en egen bygning i skråningen opp mot Søve. Totalt ble det produsert ca 350 tonn ferroniob, og som produksjonsavfall fra den metallurgiske prosessen ble det produsert mellom 600 og 1000 tonn slagg. Dette slagget består av steinliknende klumper som ble deponert i en haug på sørøstsida av produksjonshallen ut mot dalsøkket. Dette slagget var tørt og ble ikke sendt som avgang til Norsjø. Dette slagget dekker et areal på ca 40x15 meter, og siden det nå er blandet med jord og ulikt avfall er det totale volumet på mellom 1000 og 1500 m³.

Slagget inneholder avfallsproduktene fra niobmineralkonsentratet og det har lenge vært kjent at det er radioaktivt. Radioaktiviteten skyldes at innholdet av naturlig innhold av uran og thorium i niobmineralkonsentratet gikk i slagget ved ferroniobframstillingen. Det finnes ingen andre bergverk i Norge hvor det har vært produsert niobkonsentrat eller ferroniob, og forholdene på Søve er derved unike. Slagget har tidligere aldri vært undersøkt grundig, og prøver er derfor samlet inn til nærmere studier. Formålet var å finne ut hvor mye uran og thorium slagget inneholdt, hva slags forbindelser uran og thorium inngår i, om disse forbindelsene kunne lekke til miljøet og eventuelt representere et helseproblem, samt om det også kunne være miljøfarlige tungmetaller i slagget. Særlig viktig var det å fastslå om de ulike elementene inngår i glass i slagget. Dette fordi glass ofte er kjemisk ustabilt over tid og kan derved føre til lekkasjer av metallforbindelser til miljøet.

Kjemisk er sammensetningen av slagget dominert av aluminium (53 % Al_2O_3), niob (9 % Nb_2O_3) og kalsium (8 % CaO), med mindre mengder magnesium, titan, barium og natrium. Tantal, zirkonium, uran, thorium, yttrium og lantanide-elementer forekommer i mengder på under 2 %. Selv om dette synes lite er konsentrasjonen av disse elementene i slagget langt over det som er vanlig i naturlige bergarter.

Slagget består hovedsakelig av krystalline aluminiumoksider. Hovedfaser er Mg-Ti-Ba-diaoyudaoitt, hibonitt og Mg-Al-spinell. Glass er ikke påvist i noen av slaggprøvene. Uran og thorium, sammen med zirkonium, niob, tantal, yttrium og lantanide-elementer inngår i finkrystalline matrixoksider, sannsynligvis med perovskitt-lueshitt og pyroklorstruktur. Dette er oksider som er svært tungt løselige under naturlige forhold. På bakgrunn av de foreliggende data er det ingen tegn på at slagget representerer noen akutt miljøfare. En eventuell oppløsning av komponenter fra slagget i regnvann og påfølgende transport av vesentlige mengder metallioner fra slagghaugen til Norsjø synes svært liten. Siden det årlig strømmer 8 milliarder m³ vann gjennom Norsjø vil eventuelle forurensinger fra Søve ikke bidra til å forringe vannkvaliteten verken lokalt eller ved Skiens drikkevanninntak i Norsjø.

Avfallet ved Søve opptrer meget lokalt og utgjør ikke noen fare for befolkningen i området og heller ikke for elevene ved Søve videregående skole. En klar fare ligger imidlertid i om massene brukes til byggeråstoff eller fyllmasser, eller at det eventuelt foretas en arealomdisponering av området til boligformål. Dette gjelder både områdene med "vaskerijord" og slagg.

Det anbefales at slagghaugen fra ferroniobproduksjonen, samt jord med niobmineraler fra den gamle vaskeritomta, enten kapsles inn på stedet eller fjernes og legges i et lokalt fjelldeponi. En alternativ løsning kan også være å legge slagget i containere og sende det til et eventuelt eksisterende fabrikkanlegg som kan utnytte de ressursene som finnes i slagget (særlig tantal). Det er imidlertid usikkert om et slikt fabrikkanlegg finnes og er villig til å motta slagget. Før det tas avgjørelse om tiltaksform anbefales det også at det foretas nøyaktig oppmåling av både slagghaugen (nøyaktig kartfesting og volumberegning inkludert bruk av georadar og boringer) og "vaskerijord", samt supplerende miljøgeologiske undersøkelser av slagget med de nærmeste omgivelser. Dersom innkapsling foretrekkes må det foretas en stabilitetsvurdering og eventuelt en stabilisering av haugen.

i. Mandat og målsetninger

En slagghaug har siden 1950-60 tallet ligget ved de gamle ferroniobproduksjonsanleggene på Søve. Det har lenge vært kjent at dette slagget er radioaktivt, men det har tidligere ikke foreligget noen opplysninger om hva dette slagget egentlig består av. Det har heller ikke foreligget noen undersøkelser av om slagget kunne representere noen fare for miljøet utover at haugene er radioaktive.

Fylkesrådmannen i Telemark ønsket i november 2003 at regiongeologen skulle:

- Undersøke potensielt miljøfarlig avfall etter gruvedriften, med vekt på slagg etter ferroniobproduksjonen, på Søve.
- Foreslå eventuelle muligheter for tiltak.

Denne undersøkelsen har som målsetning å:

- Karakterisere slagget kjemisk / geologisk, spesielt mht forekomst av radioaktive elementer og eventuelle miljøfarlige metaller.
- Finne ut om slagget består av glass eller er krystallint, og vurdere om kjemiske elementer lekker til miljøet.
- Anbefale videre undersøkelser og tiltak.

Et kort notat med hovedkonklusjonene i denne rapporten forelå i oktober 2004.



Figur i.

Oversiktskart over Ulefoss og Søve. Rektangel viser beliggenheten av produksjonsanlegget til tidligere Norsk Bergverk, Søve Gruver AS.

INNHOLD

I. Innledning	7
1.1 Fensfeltet – Geologisk bakgrunn□	7
1.2 Niob – Hva er det?□	8
1.3 Søvitt og niobmineralene i søvitt	0
1.4 Søvin-bruda og -gruver på Søve	10
1.5 Nooproduksjonen	10
1.5.2 Niobtap	11
1.5.3 Ferroniobproduks	12
1.6 Uran, thorium, gammastrålin□	12
1.7 Ferroniobslag	13
1.8 Hvor mange tonn slagg ble det produsert på Søve?	16
	17
2. Undersøkelser av slaggprøver□	17
2.2 Røntgenfluorescensanalyser (X	17
2.2.1 Niobkonsentrat:	17
2.2.2 Slaggprøvene; Søve Slagg 1, 2,3 og 4	17
2.2.3 Ferroniob	18
2.2.4 "Vaskerijord"; Søve	18
2.3 Makroskopiske og mik	19
2.3.1 Søve slagg 1	21
$2.3.2 \text{ Solve slagg } 2 \dots \square$	22
2.3.4 Save slage 9	23
2.3.5 Søve 5 "vaskerijord□	24
2.3.6 Søve slagg 6	24
2.3.7 Slaggmik□	24
2.4 Røntgendiffraksjonsanalyser	25
2.4.1 Niobkonsentrat; \Box	25
2.4.2 Slaggprøvene; Søve Slagg 1, 2, 3, 4 og 6	25
$2.4.5 \text{vaskellold}, 50 \text{v} = 2.5 \text{Elektronmikrosonde} (FMP) \Box$	26
2.5.1 Aluminiumoksider	26
2.5.1.1 TiBaMg-diaoyudaoitt	26
2.5.1.2 Hiboni	26
2.5.1.3 Mg□	26
2.5.2 CaNaBaAI-silikater	26
$2.5.2.1 \sqcup$	26
2.5.2.2 (Ba,Ca,Na) ₄ Al ₆ Sl ₄ U_{20}	26
$2.5.2.5$ (ba, Ca) NaAi $_{3}$ SiO $_{6}$	27
2	27
2.5.3.2 Metalliske Nb-avblandinger og inklusjoner	27
2.5.4 Titan-zirkonium-niob-oksider med tantal, uran og thorium	27
2.5.4.1 Gruppe 1: Ti-Nb-oksider	27
2.5.4.2 Gruppe 2: Ti-Zr-Nb-oksider med U og Th	28
2.5.5 Kjemisk sammensetning av krystalline laser - oppsummering	20
3. Miliøgeologiske vurderinger□	29
3.1 Slagghaugene v□	29
3.2 "Vaskerijord" ved□	29
3.3 Vaskeriavgang til slamdeponi og Norsjø	29
3.4 Konsekvenser for vannet i Norsjø \Box	29
A Vurderinger av m	31
4 Hvilket avfall krever igangse□	31
4.2 Hva bør skje med avfallet?	31
4.2.1 Umiddelbare tiltak .□	31
4.2.2 Tiltak på kort sikt□	31
4.2.2.1 Er slagghaugene en utnyttbar ressurs ?	31 21
4.2.2.2 Lagring på stedet	32
$4.2.2.5$ La \square	32
4.2.2.5 Anbefalt løsning	32
5. Oppfølgende undersøkelser	34
5.1 Ferroniobslagghaugen	34 24
5.2 Slamdeponi og avgang til Norsjø⊔ .	54
6 Summary in English	34
Takk	34
Referanser	34
APPENDIKS	36
A1. Sove gruver 1951-1905: rroduksjon av maim, niodkonsentrat og ferroniob	37
A3. Elektronmikrosonde (EMP) analyser	39

1. INNLEDNING

1.1 Fensfeltet – Geologisk bakgrunn

Bergverksdriften på Søve var etter et uvanlig metall i en uvanlig bergart. Metallet er niob og bergarten er søvitt. I jordskorpa er det gjennomsnittlig ca 20 gram niob pr tonn "vanlig" fjell, mens det er ca 3500 gram nioboksid pr. tonn søvitt. Det høye niobinnholdet i søvitt skyldes de geologiske prosessene som dannet denne bergarten for 580 millioner år siden.

Søveområdet ligger innenfor Fensfeltet som er et 4-5 km² stort område som ligger øst og sørøst for Ulefoss (figur 1.1). Det spesielle ved dette området er forekomsten av karbonatitter, dvs kalkstein som har blitt til ved krystallisasjon fra et karbonatmagma (dvs smeltemasser som besto av karbonat). Faktisk er det på Søve at det for første gang i vitenskapshistorien ble påvist at denne spesielle typen kalkstein var oppstått fra et magma (Brøgger 1921). Over det som i dag er Fensfeltet var det en vulkan, men selve vulkanen er borte og vi sitter i dag bare igjen med et erosjonstverrsnitt av tilførselsrøret til vulkanen. I vanlige vulkaner består magmaene av ulike silikatsmelter. Siden bergartene

i Fensfeltet tidligere var ukjent for vitenskapen oppkalte Brøgger dem etter gårdene på Fensfeltet (fenitt, søvitt, rauhaugitt, melteigitt m.fl). Ved gruvedriften etter niob på Søve var det bare søvitt som var interessant (se avsnitt 1.3).

Karbonatsmeltene som dannet bergartene på Fensfeltet kommer fra mantelen på minst 100 km dyp. I mantelen forekommer niob i mye mindre mengder enn i jordskorpa. Elementet niob går imidlertid svært gjerne inn i en karbonatsmelte ved så høye trykk (> 2 megapascal) og høye temperaturer (> 1200°C) som vi finner i mantelen. Derfor finner vi så høye niobkonsentrasjoner i søvitt som er bergarten som ble dannet ved krystallisasjon da disse niobanrikede karbonatsmeltene intruderte jordskopra og ble avkjølt relativt nær jordoverflaten.



Figur 1.1

Forenklet geologisk kart over Fensfeltet. Middelblå farger viser forekomst av søvitt. Norsk Bergverks anlegg lå nord for Søve skole ved Norsjø. Området innenfor den svarte rammen er omtalt i teksten. H = Hydrobruddet. C = Cappelenbruddet

1.2 Niob – Hva er det?

Niob, Nb, grunnstoff nr 41, er et metall som smelter ved 2467°C og har en densitet på 8,57 g/cm³. I USA brukes navnet *columbium* for niob. Niob brukes som legeringselement i rustfritt stål som skal tåle høye temperaturer. Nioblegert stål øker slitasjebestandigheten og og varmefastheten. Niob har lavt innfangningstverrsnitt for nøytroner og brukes derfor også i legeringer for kapslingsmetaller for brenselselementer i atomreaktorer. Niob brukes også til framstilling av hardmetall (sammen med karbider av wolfram, titan og molybden), og i sveiseelektroder. Niob inngår også som metall i enkelte superledere som skal tåle meget lave temperaturer i ekstremt høye magnetfelt.

På verdensmarkedet selges niob i form av niobkonsentrat med ca 50 % Nb_2O_5 eller helst som ferroniob med ca 60 % niob. I 1950-årene var prisen på niob på verdensmarkedet meget høy, men den sank dramatisk utover i 1960-årene (figur 1.2). Bergverket på Søve startet opp i begynnelsen av 1950-årene, men måtte legge ned driften da prisene sank kraftig på 1960-tallet. Rundt 1980 steig prisene på niob kraftig (figur 1.2) og igjen ble Fensfeltet interessant. Selskapet "Fenco" foretok geologiske undersøkelser og vurderte hvor store niobreserver som fremdeles finnes i Fensfeltet. Resultatene av disse undersøkelsene er ikke kjent.

Det aller meste av verdens kjente niobforekomster finnes i karbonatittkomplekser liknende Fensfeltet. Brasil er i dag den største niobprodusenten med Canada som nr to.

Tantal, Ta, grunnstoff nr 73 likner kjemisk sett på niob, men er enda sjeldnere. For ca 100 år siden var det meget vanskelig kjemisk å skille tantal fra niob. Geokjemisk sett forekommer tantal ofte sammen med niob. Tantal forekommer også som en underordnet bestanddel i niobmineralene på Søve.



Figur 1.2

Prisutvikling for niobkonsentrat 1940-1999. Prisene er i "current dollar", d.v.s. prisen det aktuelle året uten korreksjon for inflasjon. USA garanterte for en høy minstepris for niob fra 1952 til 1958. Dette førte til en overproduksjon av niob på verdensmarkedet og prisen på niob falt i 1959 tilbake til nivået fra 1949. Meget høye priser for niob rundt ca 1980 førte igjen til undersøkelser på Fensfeltet.

Sammenstilt på bakgrunn av tabelloversikter fra U.S. Geological Survey.

1.3 Søvitt og niobmineralene i søvitt

Søvitt forekommer i området rundt Søve (figur 1.1 og 1.3a), men berggrunnen er for det meste dekket av leire og morene (jordbruksarealer). Godt synlige områder med søvitt finnes imidlertid langs bredden av Norsjø nord for Søve (figur 1.3b).



Figur 1.3a

Utsnitt av geologisk kart over Fensfeltet (Sæther 1957) som viser søvittganger som ble drevet av Søve Gruver. Søvitt er vist med svart farge. S = beliggenheten av Søve gruvers oppredningsanlegg.C = Cappelenbruddet; H = Hydrobruddet



Figur 1.3c

Makrofoto av typisk søvitt fra Søve som består av kalsitt (K; hvitt på foto) og apatitt (A; gulaktig), samt mindre mengder amfibol (M), magnetitt (J), pyritt (S) og pyroklor (P). Skala: ca 6 cm i lengderetningen. Foto: S. Dahlgren.

Søvitt består av 75-95 % kalkspat (CaCO₃, kalsiumkarbonat) og opptil 10 % apatitt (Ca₅(PO4)₃F, kalsiumfosfat), samt noen få prosent magnetitt (Fe₃O₄, jernoksid), pyritt (FeS₂, jernsulfid) og silikatmineraler (glimmer, amfibol) (figur 1.3c). Hvitfargen på søvitt skyldes det høye innholdet av hvit kalsitt.

I svært små mengder, tilsvarende ca $0,35 \% \text{Nb}_2\text{O}_{5^3}$ forekommer niobmineralene *kolumbitt (FeNb*₂O₆), *pyroklor ((Na,Ca)*₂Nb₂O₆(OH,F) og fersmitt (Ca,Ce,Na)(Nb,Ta,Ti)₂(O,OH,F)₆ i søvitt (figur 1.3d og 1.3e). Analyser av niobmineralkonsentrater under driften på Søve viste store kjemiske variasjoner i innholdet av Nb₂O₅ (58-72 %), Ta₂O₅ (0,5-2 %), TiO₂ (0,5-6 %), FeO 1-20 % og CaO (0,5-20 %) (Bjørlykke 1960). ThO₂ og lantanideelementer forekom i opptil 2 %. I enkelte soner i Tuftebruddet forekom det pyroklor med et U₃O₈ innhold på 15-20 %.



Figur 1.3b

Søvittgang (hvit) omgitt av fenitt (gråsvart) ved Cappelenbruddet. Dette er verdens referansested for definisjon av karbonatitt-bergarten søvitt, og for bergarten fenitt som ble dannet ved prosessen "fenittisering". De vertikale, tynne gangene er ferro-karbonatitt (en variant av rauhaugitt med jern-magnesium-karbonat). Denne forekomsten er fredet ved Kgl. Res. i 1998 etter Naturvernloven. Foto: S. Dahlgren.



Figur 1.3d

Makrofoto av pyroklor i Søvitt, Søve. Pyroklor forekommer typisk i oktaedre 1-5mm i diameter og har en karakteristisk brunsvart farge med glassaktig glans. Krystallen på fotografiet er ca 3mm stor. Foto: S. Dahlgren.

Både Ti, U, Th og lantanideelementer kan inngå i betydelige mengder i pyroklorstrukturen, men det er sannsynlig at mange av disse elementene inngår i andre mineraler enn dem vi vet om i søvittene. Mineralene i søvitt har imidlertid ikke blitt undersøkt med moderne metoder.



Figur 1.3e

Mikrofoto av sonert krystall av niobmineral fra Søve sett i tynnslip i polarisasjonsmikroskop. Den ytre svarte sonen er trolig kolumbitt, mens de brune og grå sonene sannsynligvis er metamikt pyroklor og fersmitt. Krystallens største lengde er ca 1mm. Foto: S. Dahlgren.

På Søve forekommer det også en annen hvit karbonatitt, "rauhaugitt", som er en dolomitt-karbonatitt (d.v.s. at hovedmineralet er kalsium-magnesiumkarbonat). Rauhaugitt inneholder lite niobmineraler og var derfor ikke spesielt interessant ved gruvedriften etter niob. Rauhaugitt er til forveksling lik søvitt. En variant av rauhaugitt inneholder jernholdig karbonat, den kalles derfor ferrokarbonatitt. Den blir rustfarget på forvitret fjelloverflate.

1.4 Søvitt-brudd og -gruver på Søve

Det ble tatt ut kalkstein til kirkene rundt Norsjø på Søve allerede på 1100tallet (Dahlgren 1989). Før 1950 var det også sporadisk uttak av søvitt for Norsk Hydro's framstilling av kunstgjødsel.

Gruvedriften etter niob startet i juli 1953 i Cappelenbruddet ved Norsjø (Johnsen 1964). Forekomsten av søvitt i Cappelenbruddet var imidlertid begrenset og var utdrevet etter et par år. I 1955 ble det startet underjordsdrift i en synk like ved Cappelenbruddet. Synken gikk vertikalt ned ca 160 meter under heistårnet på figur 1.4. Fra denne synken gikk det horisontale gruveganger i flere nivåer. Denne gruva var i drift fram til nedleggelsen i 1965.

Ved Norsjø et par hundre meter vest for Cappelenbruddet, ligger det såkalte Hydrobruddet hvor Norsk Hydro i en periode hadde uttak av kalkstein for produksjon av kunstgjødsel. Bergartene i Hydrobruddet var fattige på niob og Norsk Bergverk foretok derfor en relativt begrenset drift der.

Tuftebruddet ligger ved Tufte sør for Søve. Der ble det drevet etter niobmineraler i søvitt og dolomitt-karbonatitt (rauhaugitt). Fra Norsjø, like vest for Hydrobruddet ble det drevet en stoll (horisontal tunnell) 1,3 km inn til Tuftebruddet. Hensikten med denne Tuftestollen var å transportere brutt søvitt fra Tuftebruddet og ut til Norsjø og oppredningsanlegget ved Søve. I enkelte soner i Tuftebruddet var pyroklormineralene spesielt uranrike (15-20 % U_3O_8 ; Bjørlykke og Svinndal 1960).

Etter at driften ved Norsk Bergverk ble lagt ned ble heistårnet sprengt ned i synken. Denne synken er derfor i dag utilgjengelig. I det gamle Cappelenbruddet ligger nå Nome kommunes kloakkrenseanlegg. Mellom Cappelenbruddet og Hydrobruddet har det i de siste årene vært drevet ut pukk ("Tveitobruddet"), men også denne driften er i dag nedlagt. Tuftestollen har rast i sydenden der stollen kommer inn i Tuftebruddet. Tuftebruddet er et krater med steile vegger og er derved i dag nærmest utilgjengelig både fra stollen og fra overflaten.

1.5 Niobproduksjonen

I en vurdering av miljømessige konsekvenser av industriavfall etter Norsk Bergverk på Søve et det helt vesentlig å skille mellom avgang fra produksjonen av niobmineralkonsentrat og produksjonsavfall fra fremstillingen av ferroniob. Dette foregikk på to helt ulike måter og laget to vesentlig forskjellige avfallsprodukter.

"Avgang" fra produksjon av niobkonsentrat

Niobkonsentratet var et produkt av prosessen med å skille de tunge niobmineralene fra andre mineraler i søvitten. For å få til dette måtte søvitten i oppredningsverket males ned til en viss kornstørrelse og deretter "vaskes" i "vaskeriet". Dette besto ganske enkelt i å skille mineralkorn med ulik tyngde fra hverandre på et spesielt vaskebord hvor en blanding av den nedmalte søvitten og vann rant over bordet (figur 1.5). De tunge mineralene ble konsentrert langs spesielle soner på bordet og tatt vare på, mens de lette mineralene forsvant i "avgangen", dvs avfallsmineraler som forsvant med vannet. Dette avgangsvannet ble ledet i rør til slamdammer hvor kalken ble fanget opp og vannet rant ut i Norsjø. Det er imidlertid åpenbart at ganske mye av avgangen gikk direkte i Norsjø. Avfallsmineralene i denne våte avgangen fra vaskeriet var kalkspat, apatitt, samt noe glimmer, amfibol og litt niobmineraler (se avsnitt 1.5.2 om niobtap).

Ved "vaskeriet" ble niobmineraler samlet til et niobkonsentrat. Noe av dette konsentratet ble åpenbart "mistet" og blandet seg med det lokale jordsmonnet. Dette vil heretter bli omtalt som "vaskerijord".

Slagg fra produksjon av ferroniob

Produksjonen av ferroniob er en reint metallurgisk prosess. Denne prosessen tok utgangspunkt i et niobmineralkonsentrat som skulle foredles til en salgsvare, jern-niob-legeringen *ferroniob*. Denne prosessen foregikk inne i ferroniobproduksjonshallen (bygning på figur 1.5d). Avfallet, slagget, fra den høytemperaturprosessen som produserte ferroniob, ble deponert rett utenfor produksjonshallen. Dette vare et tørt avfall, fra store og små "steinblokker" til finere materiale, som ble liggende på stedet og ikke ført til slamdammer eller ut i Norsjø (T.Johnsen, pers. medd. 2005). Detaljert beskrivelse av prosessene involvert i ferroniobproduksjonen er gitt i avsnitt (1.5.3).



Figur 1.5

Vaskebordet i oppredningsanlegget ved Søve gruver. Vannstrømmen skylte bort lette mineraler som kalsitt, mens de tunge mineralene, blant annnet niobmineralene, ble konsentrert nede i de skrå rillene og samlet opp der hvor personene betrakter prosessen. Foto: T. Johnsens arkiv.

1.5.1 Prosessen for produksjon av niobkonsentrat og ferroniob ved Søve. Tall fra produksjonsåret 1961.

Denne oversikten viser produksjonstrinnene fra uttak av malm i gruva til produktene niobkonsentrat og ferroniob:

Råmalm levert fra gruva: 102500 tonn søvitt (råmalm) med 0,36 % Nb₂O₅ (totalt 368 tonn Nb₂O₅)

Oppredning; produksjon av "niobforkonsentrat":

- Knusing av råmalm til 1,5 mm kornstørrelse
- Magnetseparasjon av magnetitt
- Maling i stavmøller og kulemøller
- Vasking og konsentrering på ristebord og sentrifuger
- Kisflotasjon (pyritt)
- Inndamping, filtrering, tørking
- Resultat:
- 1000 tonn magnetitt
- 2075 tonn niob forkonsentrat med 10,07 % $\rm Nb_2O_5$ (209 tonn $\rm Nb_2O_5)$
- 600 tonn pyritt
- 1750 tonn apatitt

Produksjon av "urenset niobkonsentrat" på Herøya

- 2000 tonn niobforkonsentrat sendt Herøya (ca 201 tonn Nb_2O_5)
- Oppløsning av apatitt og kalsitt i salpetersyre (HNO₃)
- Resultat:
- 342 tonn urenset niobkonsentrat, ca 55 % (190 tonn Nb₂O₅), sendt tilbake til Søve.

Produksjon av "renset niobkonsentrat"

- 318 tonn urenset konsentrat
- Sinterbrenning med koks i panner for å fjerne rester av svovel og fosfor.

Resultat:

• 318 tonn renset konsentrat

Ferroniobproduksjon

I utgangspunktet 143 tonn renset niobkonsentrat (ca 78 tonn Nb₂O₅) gav 81 tonn ferroniob (60 % Nb; om regnet 70,0 tonn Nb₂O₅). Se detaljert beskrivelse av prosessen i av snitt 1.5.3.



Figur 1.4

Daganlegget til Norsk Bergverk, Søve Gruver ca 1960. Heistårnet over synken sees omtrent midt på fotografiet. Det røde bygningskomplekset til høyre for heistårnet er oppredningsanlegget (knuser, "vaskeri", magnetseparasjonsanlegg etc). Ferroniobproduksjonen foregikk i det grå store bygget til venstre. Slagget fra ferroniobproduksjonen ble deponert foran til venstre for produksjonsbygget. Røret som går på stillas fra oppredningsanlegget mot venstre og i forkant av ferroniobproduksjonsanlegget ble brukt til å transportere kalksteinsavgang fra vaskeriet opp til øvre del av slamdam. Kalksteinsslam ble sedimentert i slamdammen som ligger bak grantrærne ned til Norsjø i nedre høyre bildekant. Da fotografiet ble tatt var slamdammen full og hvitfargingen ut i Norsjø skyldes kalksteinsslam. Dagbruddet til høyre er Cappelenbruddet. Foto: Ukjent.

Produkter levert fra verket i 1961

24 tonn urenset konsentrat (55 % Nb_2O_5) 175 tonn renset konsentrat (55 % Nb_2O_5) 81 tonn ferroniob (60 % Nb) 13,5 tonn Nb₂O₅ 94,5 tonn Nb₂O₅ 70,0 tonn Nb₂O₅

Totalt utvunnet og solgt 178 tonn $\rm Nb_2O_5$. Utvinningsgraden var 48,4 % av $\rm Nb_2O_5$ i råmalmen.

1.5.2 Niobtap

Produksjonstallene viser at det var et betydelig niobtap, drøyt 50 %, i løpet av produksjonsprosessen fra malm til ferroniob. Fra tabellen nedenfor, basert på tall fra produksjonsåret 1961, er det klart at det meste niobtapet skyldes dårlig oppredning og derved at en stor andel av niobmineralene forsvant sammen med "kalkmel" (den knuste kalkspaten fra søvitten) og noe apatitt i avgangen fra vaskeriet og ble avsatt enten i slamdammene eller i Norsjø.

Tabell 1.5.2Tap av niob i ulike prosesstrinn i 1961

Delprosess	Tonn
Tap i oppredning.	159
Tap i salpetersyreoppslutning på Herøya	11
Tap i rensing	0
Tap ved ferroniobproduksjon	8
Totalt tap Nb,O	178

Tabell 1.5.2 viser at ca 178 tonn Nb₂O₅ bare i 1961 ble avsatt i slamdammene på land eller forsvant ut i Norsjø og derved ligger i sedimentene der. Det langt betydeligste volumet med avgangsmineral fra vaskeriet var imidlertid kalkspat, og etter avslutningen av Norsk Bergverk ble det i noen år tatt ut "kalkmel" fra slamdammene og Norsjø og solgt som jordbrukskalk (jordforbedringsmiddel) i hele distriktet rundt Ulefoss.

1.5.3 Ferroniobproduksjonen

Ferroniobproduksjonen var en metallurgisk prosess hvor det ble framstilt en legering av jern (40%) og niob (60%) metall. Følgende beskrivelse av prosessen er etter Hedlund (1982).

Utgangspunktet for ferroniobproduksjonen var det "urensete niobmineralkonsentratet" som var returnert fra Herøya etter at Norsk Hydro hadde fjernet apatitt (fosfat) fra "niobforkonsentratet" ved oppløsning i salpetersyre. Niobmineralene var uløselig i syre. Industriprosessen ved Herøya var imidlertid ikke perfekt og fjernet ikke all apatitt og svovelholdige mineraler. Konsentratet som ble returnert til Søve kaltes derfor for "urenset konsentrat". Svovel og fosfat er helt ødeleggende i stållegeringer og følgende renseprosess ble deretter foretatt ved Søve for produksjon av ferroniob:

Fjerning av svovel

Urenset niobkonsentrat ble blandet med koks og oppvarmet ved brenning i en sentreringsmaskin under innsuging av luft. Forbrenningen av koks skjedde ved 1100-1200°C og svovel ble oksidert og forbrant (avgang som svoveloksid-gasser).

Fjerning av apatitt (fosfor):

Tungt løselig kalsiumfosfat (apatitt) måtte overføres til vannløselig fosfat. Dette skjedde ved oppvarming av niobmineralkonsentrat sammen med NaCl i en oljefyrt rotasjonsovn. Ved 1000°C smeltet NaCl og apatitt løstes opp i koridsmelten og det ble dannet natriumfosfat. Niobmineralene løste seg imidlertid ikke, og den smeltede blandingen ble helt over i en ildfast øse hvor de tunge niobmineralene sank til bunns. Saltbasen ble helt tilbake til rotasjonsovnen og brukt på ny.

Niobmineralkonsentratet ble avkjølt, stykket opp og lagt i vanntanker med luftgjennomstrømming til saltet ble løst opp. Saltvannet gikk som avgang til Norsjø. Niobkonsentratet ble deretter tørket og var da fritt for svovel, fosfor og salt.

Smelting av niobmineralkonsentrat og jernoksid til ferroniob, samt fjerning av avfallsproduktene:

Renset niobkonsentrat, aluminiumsgranulat (korn av metallisk aluminium) og jernslig (finmalt jernoksid), samt litt kalkstein, ble deretter blandet i en smeltedigel. Kalksteinen ble tatt fra vaskeriavfallet på Søve. Det ble også jernsligen, dvs. at magnetitt som tidligere var tatt ut av søvitten ved magnetseparasjon ble tilsatt igjen i nøye tilmålte mengder (T.Johnsen pers. medd. 2005).

Digelen ble plassert i ei grop på gulvet, et lokk ble skjøvet over digelen, og det hele ble varmet opp til 500°C. Deretter ble en tennsats (av aluminiumspulver og bariumperoksid?) satt på toppen av den varme blandingen i digelen og antent. Prosessen er ekstremt eksoterm: Aluminium forbrant under meget sterk varmeutvikling; 2200°C. Prosessen kalles derfor en termitt- eller aluminotermisk prosess. Prosessen innebærer en reduksjon av oksygen fra mineralene i niobmineralkonsentratet og fra jernsligen, dvs. produksjon av en jern-niob smelte. Detaljene fra produksjonen på Søve er ikke kjent, men ved Niobec-anlegget i Canada (www.niobec), tar det ca 5 minutter før en blanding på 5,5 tonn er smeltet. Deretter tar det bare 7-8 minutter før ferroniobsmelten og slaggsmelten er separert. Jern og niob lager en tung ferroniobsmelte som synker til bunns i digelen.

Resten går i slaggsmelten som da består av komponenter fra øvrige bestanddeler av niobkonsentratet, aluminium og kalkstein. Slagget er relativt lett og flyter oppå ferroniobsmelten. Digelen ble avkjølt et døgn, og det avkjølte slagget og ferronioblegeringen ble veltet ut av digelen og deretter skilt. Slagget ble kjørt ut og dumpet i hauger på sørøstsida av ferroniobproduksjonsbygget, mens ferronioblegeringen ble knust i ulike kornstørrelser og solgt til kunder i USA, Tyskland, Sverige og England.

1.6 Uran, thorium, gammastråling og radon

Alle bergarter og løsmasser som jorda består av er radioaktive. Noen bergarter, for eksempel alunskifer og visse granitter er spesielt radioaktive, mens basaltlavaer og vanlige kalksteiner er lite radioaktive. Dette skyldes naturlige variasjoner i innhold av uran, thorium og kalium i ulike bergarter.

Ved nedbrytning av de langlivete naturlige radioaktive isotopene ⁴⁰K, ²³⁵U, ²³⁸U og ²³²Th blir det frigitt gammastråling. ²³⁵U, ²³⁸U og ²³²Th brytes ned til en rekke radioaktive datterisotoper før de ender opp som stabilt bly (henholdsvis ²⁰⁷Pb, ²⁰⁶Pb og ²⁰⁸Pb). Under denne prosessen blir det også produsert alfapartikler og radongass. I urankjeden dannes ²²²Rn og i thoriumkjeden dannes ²²⁰Rn ("thoron"). Begge disse radongassisotopene er radioaktive og har halveringstider på hhv 3,5 døgn og 55,6 sekunder. Det er høye forekomster av radongass fra uran og thorium som kan gi et helseproblem, mens selve gammastrålingen i naturen vanligvis er for liten til å utgjøre noen helsefare.

Tidlig på 1980-tallet ble det utarbeidet et gammastrålingskart som viste at det var forhøyet gammastråling i de østre delene av Fensfeltet (Dahlgren 1983). Denne gammastrålingen skyldes i hovedsak nedbrytning av thorium som forekommer naturlig i de spesielle bergartene der ("rødberg" og "ferrokarbonatitt"). På gammastrålingskartet fra 1983 ble gammastrålingsnivåene opppgitt i µRh⁻¹. I dag brukes måleenheten Gy. For å regne om gammastrålingsdose til luft fra Rh⁻¹ til Gyh⁻¹ har vi følgende relasjon: 10µR/h ~ 88nGy/h (T.Strand, pers. medd. 2005). (µR/h = mikrorøntgen pr time; nGy/h = nanogrey pr time).

Søvittene i Fensfeltet inneholder naturlig forekommende uran og thorium. Søvitt-områdene er imidlertid ikke spesielt radioaktive, de har en gammastråling på 15-35 μ Rh⁻¹ (tilsvarende 130-300 nGy h⁻¹). Dette er omtrent som i mange granittområder i store deler av Telemark, men ligger over gjennomsnittlig gammastrålingsnivå fra berggrunnen i Norge.

I området der Norsk Bergverk lå, mellom Søve og Norsjø, finnes to mindre områder med gammastråling på 50 – 200 μ Rh⁻¹; tilsvarende 440-1760 nGyh⁻¹ (Dahlgren 1983). Denne forhøyede gammastrålingen var henholdsvis over områder med delvis tildekket deponi av slagg fra ferroniobproduksjonen og på tomta hvor det gamle oppredningsanlegget for niob lå (figur 1.6). På kartet er det et lavere gammastrålingsnivå over slagghaugene enn det er over "vaskerijiorda". Dette skyldes nok at slagget ved målingene i 1982 var tildekket slik de er i dag.

Måling av radioaktiviteten i en slaggprøve fra ferroniobproduksjonsanlegget ble utført ved Statens Institutt for Strålehygiene (nåværende Statens Strålevern) og gav aktivitetskonsentrasjoner på 4,6x10⁴ Bqkg⁻¹ for ²²⁶Ra og 4,7.10⁴ Bqkg⁻¹ for ²³²Th (Stranden 1982). Dette viste at det var konsentrasjoner på hhv 3588 ppm U og 11750 ppm Th i ferroniobslagg (Stranden 1982).



Figur 1.6

Utsnitt av "Gammastrålingskart over Fensfeltet" (Dahlgren 1983). Forhøyet gammastråling fra uran og thorium sees som de to områdene med henholdsvis rødlig og brun farge.

De radioaktive grunnstoffene som forekommer naturlig i alle bergarter (og derved også i slagget på Søve) har meget lange halveringstider:

²³⁵ U	704.000.000 år	(0,72 % av naturlig uran)
²³⁸ U	4.470.000.000 år	(98,28 % av naturlig uran)
²³² Th	13.900.000.000 år	(100 % av naturlig thorium)

Som vi ser vil, for alle praktiske formål, jordens bergarter, og også slagget på Søve, holde seg radioaktive uendelig lenge. Radioaktiviteten i slagget er derfor et vedvarende problem.

Helserisiko i dag?

Statens Strålevern (T.Strand pers. medd.) har følgende oppfatning av helserisiko vedrørende slagghaugen pr. i dag:

- I henhold til radonmålinger foretatt av Nome kommune er det ikke noen spesiell helserisiko for ansatte ved Søve Mek. Verksted å arbeide på stedet slik de gjør i dag.
- Gammastrålenivået er høyt, men er ikke helsefarlig.
- Slagghaugen utgjør ikke noen helserisiko slik arealet brukes i dag.

1.7 Ferroniobslagghaug og "vaskerijord" – beliggenhet og volum

Beliggenheten av slagghaugen og "vaskerijorda" er vist på kart (figur 1.7a) og flyfoto tatt i 2004 (figur 1.7b).

Slagg

Siden både ferroniobproduksjonshallen og laboratoriet ble bygget før produksjonen av ferroniob tok til ligger ikke disse bygningene oppå

slagghauger (T.Johnsen, pers. medd. 2005; figur 1.7c). Slagghaugen ligger sør og øst for den gamle ferroniobproduksjonshallen og sør for bygget som tidligere var laboratorium (figur 1.7d).

Haugen ligger i en naturlig skråning og tykkelsen i ytterkant mot dalsøkket mot øst er trolig 10 m, men det skrår inn mot null meter inn mot fjellet. Lengdeutstrekningen er ca 30-40 meter og bredden 10-15 meter (figur 1.7e og 1.7f). Ut i fra disse forutsetningene får vi et maksimumvolum på rundt 3000 m³, og et sannsynlig volum på mellom 1500 og 2000 m³. Dette er sannsynligvis også et for stort volum siden det allerede før ferroniobproduksjonen begynte var en fylling av sprengstein på stedet (se figur 1.7c). Det vil være mulig å få et mer eksakt volumanslag ved nøyaktig oppmåling kombinert med geologisk tolkning av de lokale forholdene. Det er sannsynlig at bruk av georadar kombinert med noen boringer vil gi de beste resultatene.

"Vaskerijord"

I området med påvist høyere radioaktivitet nord for ferroniobproduksjonsanlegget, der hvor vaskeriet lå tidligere (figurene 1.7a og 1.7b), er det ikke påvist klumper av ferroniobslagg. Graving av noen hull viste at dette var radioaktivt "jordsmonn". Området er anslagsvis 50x50 meter stort "(figur 1.7g). Det er sannsynlig at denne "jorda" er niobmineralkonsentrat fra vaskeriet som er blandet med lokalt jordsmonn. Det kan imidlertid ikke utelukkes at denne "jorda" også inneholder ferroniobslagg i form av "støv" (oppsop) eller eventuelt brukt støpesand fra ferronioproduksjonsanlegget. Dette dreier seg uansett om en annen type avfall enn ferroniobslagghaugen.



Figur 1.7a

Kart over det gamle driftsområdet for AS Norsk Bergverk, Søve Gruvers, driftsanlegg på overflaten. Områder med slagg, "vaskerijord" og avgangsdeponi er diskutert i denne rapporten.



Figur 1.7b

Flyfoto fotografert i 2004 fra nordøst mot det gamle oppredningsområdet ved Søve gruver. Pilene viser beliggenheten av ferroniobslagg og "vaskerijord". Foto: S. Dahlgren.



Figur 1.7c

Ferroniobproduksjonshallen under oppføring. Dette må ha vært i ca 1957. Legg merke til oppfyllingen av sprengstein fra lokal bergart (B) i bakkant av den nyoppsatte grunnmuren. Slagget ble seinere lagt ut på denne fyllingen, men en betydelig fylling emed sprengstein eksisterte åpenbart i dette området før ferroniobproduksjonen begynte. Volumanslaget på slagg i haugen er derfor trolig for høyt. Foto: Arkivet, Ulefoss bibliotek.



Figur 1.7d Ferroniobproduksjonshallen (F). Fotografert ca 1960. Utsnitt fra figur 1.4. Slagg (S) ble deponert rett utenfor bygningene. Foto: Ukjent.



Figur 1.7e Slagghaugen ved det gamle ferroniobanlegget sett fra nordvest. Området var delvis tildekket i 2004. Foto: S. Dahlgren



Figur 1.7f Slagghaugen ved det gamle ferroniobanlegget sett fra sør. Den gamle ferroniobproduksjonshallen sees i bakgrunen. Foto: S. Dahlgren



Figur 1.7g Området med "vaskerijord" ved det gamle oppredningsanlegget på Søve. Foto: S. Dahlgren

1.8 Hvor mange tonn slagg ble det produsert på Søve?

Av produksjonstallene fra driften vet vi sikkert at det ble produsert 271 tonn ferroniob på Søve (tabell A1). Produksjonstall for 1964 og 1965 har det imidlertid ikke lykkes å få tak i. Vi vet imidlertid at det også disse to siste årene ble produsert ferroniob. Antar vi at denne produksjonen var omtrent som i de foregående årene får vi opp mot totalt 350 tonn. Hedlund (1982) oppgir at det ble produsert totalt 350 tonn ferroniob på Søve. 350 tonn er derfor brukt i de følgende betraktningene.

Produksjonstallene forteller ingen ting om hvor mye slagg som ble produsert. Det har heller ikke vært mulig å finne opplysninger om hvor mange prosent eller tonn aluminium og jernslig som ble tilsatt det rensete niobkonsentratet for å produsere ferroniob og slagg. Likevel kan vi få et grovt anslag over hvor mye slagg som ble produsert ved bruk av følgende opplysninger fra produksjonen i 1961:

Av 143 tonn renset konsentrat (med ca 78 tonn Nb₂O₅) ble det produsert 81 tonn ferroniob, med 60 % Nb metall (tilsvarende ca 70 tonn Nb₂O₅). Til slagg var det da en rest på 62 tonn, inkludert 8 tonn Nb₂O₅ som gikk i slagget. Dette gir ca 10 % tap av Nb₂O₅ til slagget regnet ut i fra mengden i det rensete konsentratet. Mengden Nb₂O₅ (8 tonn) utgjør da 12,9 % av slagget, Al₂O₃ ikke medregnet.

Sammensetningen av slagget

Fra XRF-anaysene av 4 slaggprøver (tabell 1.8; Søve slagg 1-4) ser vi at slagget gjennomsnittlig inneholder 53 % Al_2O_3 og ca 10 Nb_2O_5 (inkl Ta_2O_5). Dersom vi antar et gjennomsnittlig Al_2O_3 -innhold på 53 % ville det ved framstillingen av 81 tonn ferroniob i 1961 ha blitt produsert ca 132 tonn slagg med et Nb_2O_5 innhold på ca 6 %. Overensstemmelse mellom det kalkulerte Nb-innholdet og det som faktisk er analysert i slagget, indikerer at beregningen viser korrekt størrelsesorden på slaggmengde.

Tabell 1.8

XRF-analy	ser av	slagg	fra	Søv
-----------	--------	-------	-----	-----

Slaggprøve nr	% Al ₂ O ₃	% Nb ₂ O ₅ + Ta.O.
Søve-1	48,9	14,3
Søve-2	52,6	9,2
Søve-3	54,9	9,9
Søve-4	55,7	6,9
Gjennomsnitt	53,0	10,1

På Søve ble det i perioden 1957 til 1965 produsert ca 350 tonn ferroniob. Bruker vi en omregningsfaktor på 1,63 får vi rundt 570 tonn slagg. Densitet er målt på 2 slaggprøver: Søve slagg 3: 4 g/cm³; Søve slagg 6: 3,4 g/cm³. Dette gir en densitet på rundt regnet 3,5 g/cm³ og bruker vi denne densiteten for 570 tonn slagg får vi et volum på grovt sett 160-170 m³. Dette volumet angir mengde slagg som om det hele skulle være en hel stor massiv klump. Slaggavfallet består imidlertid av store og små biter, som ofte er kantete klumper eller flakformet. Slaggbitene i haugen har derfor trolig en liten pakningsgrad (mye "luft" mellom bitene), og volumet slik slagget ligger i haugen kan derfor være minst 3-4 ganger totalt sammenpakket volum, m.a.o. i størrelsesorden 600-800 m³. I tillegg er det åpenbart blandet inn jord og annet rusk og rask slik at slagghaugen kan ha et volum på 1000 - 1500 m³.

Dersom vi antar at slaggmengden produsert på Søve var identisk med den slaggmengden som i dag blir produsert pr tonn ved ferroniobproduksjonsanlegget "Niobec" i Canada har vi følgende forutsetninger:

5500 kg Nb-konsentrat blandet med metallisk aluminium og jernslig (Fe₂O₃) gir et utbytte på 2000 kg ferroniob. 3500 kg er altså slagg. Dette gir en konversjonsfaktor på 2,75, og bruker vi denne faktoren for Søve får vi ca 960 tonn, eller ca 275 m³, slagg.

På grunnlag av beregningene ovenfor er det rimelig grunn til å anta at totalt produsert slagg på Søve var mellom 570 og 960 tonn.

2 UNDERSØKELSER AV SLAGGPRØVER

2.1 Analysemetoder og hensikten med analysene

Slagget på Søve er tidligere aldri blitt undersøkt i noen detalj. Ferroniobproduksjon foregår kun på svært få steder i verden og det har heller ikke vært mulig å spore opp noen andre steder hvor sammensetningen av et slikt slagg er studert og beskrevet. Denne rapporten har derfor ingen tidligere studier å bygge på. Siden også slagget har en ekstrem kjemi og består av ekstreme krystalline faser er disse slaggproduktene svært fjernt fra naturlige systemer som en geolog vanligvis beskjeftiger seg med. Tilsvarende slaggsystemer er neppe heller undersøkt av metallurger tidligere. Prinsippene for undersøkelse av slagget er imidlertid helt analoge til geokjemiske / mineralogiske / petrologiske undersøkelser jeg med min geologibakgrunn gjennom mange år har foretatt i naturlige systemer. Siden slagget imidlertid kun inneholder meget sære, kunstige krystalline faser, noen av dem kanskje aldri før beskrevet, er dette vitenskapelig sett utfordrende.

For å karakterisere slagget er følgende metoder anvendt:

- Makroskopiske observasjoner
- Polarisasjonsmikroskopi av tynnslip
- Røntgenfluorescensanalyser
- Røntgendiffraksjonsanalyser
- Elektronmikrosondeanalyser (kvantitativt elektronmikroskop)

Disse undersøkelsene er helt essensielle for å kunne vurdere eventuelle skader slagget kan ha på miljøet, samt gi informasjon som er grunnleggende for å utføre tiltak i området. Viktige spørsmål er:

Består slagget av glass, krystalline faser eller begge deler?

Det er helt essensielt å vite om slagget består av glass eller krystalline faser. Glass dekomponeres ofte relativt lett i naturen. Stabiliteten av krystalline faser i naturmiljøet er derimot avhengig av fasenes kjemiske sammensetning og struktur. Dersom uran og eventuelle tungmetaller sitter i glass eller i vannløselige krystalline faser, vil det ha helt andre konsekvenser enn om disse elementene er fast bundet i krystallgittere i tungt løselige / uløselige krystalline faser.

Hva er den kjemiske sammensetningen av slagget?

Den kjemiske sammensetningen til slagget var helt ukjent. I dette studiet får vi fastslått hvilke kjemiske elementer slagget består av og hvor mye de inneholder av ulike elementer.

Hva er sammensetningen av de krystalline fasene, eventuelt glass, i slagget? Det er spesielt lagt vekt på å finne ut av hvordan uran og thorium, samt eventuelle tungmetaller forekommer. Dette er et viktig grunnlag for å vurdere mulighetene for lekkasjer av disse elementene til miljøet. Dessuten er dette viktig for å vurdere om forekomsten av et element kan være toksisk. Barium forekommer for eksempel som det svært tungtløselige mineralet barytt (BaSO₄) i naturen. Barytt er ikke toksisk, mens enkelte andre bariumsalter er toksiske.

Er det tegn på kjemisk oppløsning av slagget?

Det er viktig å bringe på det rene om slagget har begynt å forvitre. Forvitrer de betyr det at kjemiske komponenter fjernes og lekker ut i miljøet.

2.2 Røntgenfluorescensanalyser (XRF)

Slaggets sammensetning er en funksjon av følgende parametre:

- Sammensetningen av det opprinnelige niobmineralkonsentratet.
- Tilsetningsstoffer under ferroniobproduksjonen
- Effektiviteten av separasjonen mellom ferroniobsmelten og slaggsmelten.
- Eventuell forvitring

Semikvantitative XRF analyser (Uniquant) er utført på:

- **Søve Slagg 1, 2, 3 og 4**: Fire nedknuste bulkprøver av slagget samlet ved ferroniobproduksjonsanlegget høsten 2003
- Søve 5: "Vaskerijord", d.v.s. "jordsmonn" fra området der oppredningsanlegget sto på Søve.
- FeNb: Ferroniob-klump separert ut fra Søve slagg 3
- **Nb-kons**: Niobkonsentrat fra oppredningsanlegget på Søve (samlet mens anlegget var i drift ca 1960)

Analyseresultatene er listet i tabell 2.2. NB! Merk at sammensetningen av FeNb er oppgitt som vekt % metall, mens de øvrige analysene er oppgitt som vekt % oksid.

2.2.1 Niobkonsentrat; Nb-kons

Ideelt skulle niobkonsentratet som ble brukt til ferroniobproduksjonen kun inneholde niobmineraler. I praksis skjer ikke det i industrielle prosesser av denne typen. Andre tungmineraler vil også følge med i tungmineralfraksjonen i vaskeriet, selv etter at magnetitt og sulfider var fjernet med hhv magnetseparator og flotasjon. Det analyserte niobkonsentratet er trolig uløselige mineraler etter HNO₃ (salpetersyre) oppslutning på Herøya. Dette skulle ideelt fjerne all apatitt (fosfat) og svovel. I praksis måtte en fjerne restsvovel og fosfat på Søve før en kunne bruke niobkonsentratet til ferroniobproduksjonen. Innholdet av fosfor (0,5 % P₂O₅) og svovel (0,5 % SO₃) tyder på at den analyserte prøven, Nb-kons, var et konsentrat som var returnert fra Herøya, men hvor fosfor og svovel ikke var fjernet enda (såkalt "urenset konsentrat").

Det foreligger ingen moderne analyser av de ulike tungmineralene fra søvitt. I hvilke mineraler de ulike elementene forekommer i konsentratet er derfor uklart inntil slike analyser foreligger. Basert på erfaring kan vi imidlertid anta at det meste av innholdet av Nb, Ta, Th, U, Fe, Ca og lantanider forekommer i pyroklor og columbitt. Zr skyldes trolig tilstedeværelse av zirkon (Zr_2SiO_4), og for bariums vedkommende, barytt ($BaSO_4$), i konsentratet. Ti-innholdet skyldes at konsentratet inneholdt fersmitt og noe rutil.

2.2.2 Slaggprøvene; Søve slagg 1, 2, 3 og 4

Slaggene er svært aluminiumrike (gjennomsnittlig ca 53 % Al₂O₃) og silisiumfattige (SiO, 3,4-5,3 %). Aluminiuminnholdet skyldes at niobkonsentratet ble blandet med metallisk aluminium som reagent for den aluminotermiske prosessen. I slagget er det relativt høve konsentrasjoner av niob (Nb₂O₅ 5-12 %) og tantal (0,7-2,1 %), noe som viser at separasjonen av niob til ferroniobsmelten ikke var total og at tantal ble relativ sett anriket i slagget. For vurdering av anrikningsgraden av de ulike elementene er det nyttig å se på figur 2.2. Denne figuren må riktignok brukes med en viss forsiktighet da vi bare har en analyse av niobkonsentrat og bare 4 analyser av slagg. Det mest påfallende er det høye innholdet av natrium. Selv om pyroklor kan inneholde en del natrium gjør det høye natriuminnholdet i slagget det sannsynlig at natrium også må ha blitt tilsatt i prosessen med ferroniobproduksjon. Det er ikke funnet noen rapporter som viser at dette var tilfelle på Søve, men i ferroniobproduksjonen i Canada i dag brukes en tilsats av NaNO, i prosessen. Trolig gjorde en det på Søve også. I Canada brukes i dag en tennsats av metallisk aluminiumpulver og bariumpentoksid for å få den aluminotermiske prosessen i gang. Det høye bariuminnholdet i slagget på Søve kan derfor også skyldes en tilsetning. Alternativt kan de høve bariumverdiene skyldes innhold av barytt (BaSO₄) i tungmineralkonsentratet.

Magnesiuminnholdet i Søve Slagg 1 er en størrelsesorden høyere enn for de andre analyserte slaggene. I følge driftsbestyrer T. Johnsen ved Søve gruver (pers komm 2005) brukte en kalk fra søvitt som slaggdanner i ferroniobproduksjonen. Ved Søve forekommer det i tillegg til søvitt også en dolomittkarbonatitt (rauhaugitt) som inneholder omtrent like mye magnesium som kalsium. Rauhaugitten er av utseende nokså lik søvitt og jeg antar derfor at magnesiuminnholdet i Søve Slagg 1 skyldes at en brukte dolomittkarbonatitt som slaggdanner. For den metallurgiske prosessen spilte det ingen rolle da både dolomitt og kalsitt er gode slaggdannere. Fra et miljøgeologisk perspektiv er det innholdet av de underordnete bestanddelene av slagget som har interesse. Dette gjelder særlig uran (0,44 -1,12 % U₃O₉) og thorium (1,4 -2,0 % ThO₂). Dette er utvilsomt høye konsentrasjoner. Av andre elementer er det høye konsentrasjoner av zirkonium og lantanideelementer (inkludert yttrium). Det er verdt å merke at det ikke er påvist miljøskadelige tungmetaller som kadmium, kvikksølv, bly, nikkel, vanadium eller kopper i slagget.

2.2.3 Ferroniob; FeNb

Analysen av ferroniob, FeNb, fra Søve Slagg 3, viser at dette er en temmelig rein legering som består av jern og niob. Andre bestanddeler forekommer i så liten mengde (ved eller under deteksjonsgrensen for analyseinstrumentet) at de ikke har noen miljømessig relevans.

2.2.4 "Vaskerijord"; Søve 5

Denne prøven ble samlet av radioaktiv "jord" der hvor oppredningsanlegget ("vaskeriet") sto tidligere. Analysen og undersøkelse under lupe viser at prøven består av niobmineralkonsentrat blandet med industriavfall, betongbiter, rust, humus og annet. Det kan ikke utelukkes at det også kan være et mindre innhold av avfall fra ferroniobproduksjonen, men det er i tilfelle ikke mye.



Figur 2.2

Elementer anriket i slagget i forhold til utgangskonsentrasjonen i niobkonsentratet. Anrikede elementer plotter over den stiplete linja. Elementer som ble anriket i ferroniob-legeringen plotter under. Legg merke til at tantal og uran anrikes i slagget. NB! Tallene er basert på bare en analyse av niobkonsentrat.

Tabell 2.2 XRF-analyser av:	Oksid	Søve-1	Søve-2	Søve-3	Søve-4	Slagg	Søve-5	Nb- kons	Feri nio	o- FeNb b
Slagg (Søve-1; Søve-2; Søve-3; Søve-4 og gjennomsnitt av disse) "Vaskerijord" (Søve-5)	vekt-%					Gj.snitt			meta %	111-
Niobkonsentrat (Nb-kons)	SiO2	5,26	5,09	3,44	4,87	4,67	28,5	3,2	Si	2,66
<i>Ferroniob (FeNb; globul separert ut fra</i> $S = 2$)	TiO2	2,92	8,88	6,76	4,52	5,77	1,3	7,5	Ti	0,35
Søve-5)	Al2O3	48,85	52,58	54,92	55,7	53,01	7,8	0,1	A	nd
nd = ikke analyserbare konsentrasjoner	Fe2O3	0,07	0,09	1,22	0,1	0,37	29,8	15,9	Fe	41,08
	MnO	0,51	0,66	0,48	0,43	0,52	0,3	0,9	M	n 0,47
Analytisk instrumentering.	MgO	5,97	0,56	0,65	0,53	1,93	1,9	0,2	M	g nd
Søve slagg 1, 2, 3 og 4, samt ferroniob:	CaO	7,05	7,73	9,62	7,52	7,98	11,7	4,8	Ca	ı 0,09
Den kjemiske sammensetningen ble	Na2O	4,33	4,4	3,56	5,53	4,46	1,3	0,2	Na	ı 0,77
foretatt på pressede tabletter ved hjelp av "Philips PW 2400" røntgenfluores-	K2O	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	1,6	nd	K	nd
cens-spektrometer. Konsentrasjonene ble	P2O5	nd	0,02	nd	nd		0,8	0,5	Р	0,1
beregnet med UniQuant semikvantitativt	BaO	4,27	3,4	3,09	6,24	4,25	1,5	1,4	Ba	u 0,03
analyseprogram.	SrO	0,41	0,27	0,27	0,59	0,39	0,1	0,2	Sı	nd
"Vaskerijord" (Søve 5) og niobkonsentrat	Nb2O5	12,17	8,51	9,21	5,06	8,74	10,4	60,3	NI	52,92
(FeNb):	Ta2O5	2,14	0,71	0,71	1,79	1,34	0,2	0,3	Та	0,7
"Bruker S4 Pioneer" røntgenfluorescens-	ZrO2	1,3	2,41	1,87	1,62	1,80	0,4	1,5	Zı	nd nd
med Semiquant analyseprogram.	ThO2	1,88	1,56	1,41	1,95	1,70	0,3	1,3	Tł	ı 0,1
	U3O8	1,12	0,42	0,44	1,01	0,75	0,05	0,1	U	nd
	Y2O3	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,01	0,06	Y	nd
	CeO2	0,49	0,95	0,78	0,66	0,72	nd	0,6	Ce	e nd
	Nd2O3	0,1	0,21	0,14	0,16	0,15	nd	0,2	No	l nd
	La2O3	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17			La	ı nd
	Pr6O11	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04			Pı	nd
	SO3	0,02	0,06		0,04		1,4	0,5	SO	3 nd
	Cl	nd		0,02	0,05		0,3	nd	C	nd
	F	.68	0,99	1	1,14				F	nd
	Sm2O3		0,02	0,02					V	0,14
	Sc2O3		0,01	nd					M	0,07
	V2O5		0,06	nd					Co	0,05
	Total	99,14	99,88	99,91	99,80		99,66	99,76	Sr	0,02
									Su	n 99,55

2.3 Makroskopiske og mikroskopiske observasjoner

Slaggprøvene er tatt fra overflaten av slagghaugen ved det gamle ferroniobanlegget. Dette slagget ble derfor trolig produsert mot slutten av driften som stanset i 1965. På tross av at slagget har ligget eksponert for regn og luft i over 40 år er det ingen åpenbare ytre tegn på forvitring og oppløsning. Fire slaggprøver med ulikt utseende ble valgt for grundige undersøkelser. Det ble ikke foretatt noe graving i haugen og det er ikke sikkert at slaggprøvene er representative for alle typer slagg som finnes i haugen. Identifisering av de ulike fasene bygger på optiske data fra polarisasjonsmikroskopi, fra røntgendiffraksjon og kvantitative elektronmikrosonde-analyser.

2.3.1 Søve slagg 1

Makroskopisk beskrivelse

Slagget er gråbrunt og mediumkornet krystallint (figur 2.3.1a). Det ser ikke forvitret ut.

Mikroskopi

Tekstur og krystallstørrelse

Slagget er jevnkornet med ca 60 % 1-3 mm store krystaller i finkrystallin matrix (figur 2.3.1b).

Hovedfaser

Det er to hovedfaser med større krystaller:

a. Daiaoyudaoitt. Fargeløse, langprismatiske krystaller 2-4 mm lange og 0,5 mm breide (figur 2.3.1c). Inneslutninger av dendrittiske



Figur 2.3.1a Makrofoto av Søve slagg 1. Skalaen er 1 cm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3 Søve slagg 1. Prismatiske krystaller av diaoyudaoitt. Skalaen er 2mm. Foto: S. Dahlgren.

"busker" (figur 2.3.1d og gule, isotrope områder uten krystallomriss (viser seg å være spinell).

b. Spinell. Gule, isotrope krystaller opptil 0,5 mm i diameter (figur 2.3.1d). Hyppige opake inneslutninger som enten er krystallografisk orienterte, avlange, opake legemer, eller er buskliknende og dendrittiske.

Det forekommer også rosetter med svært tynne prismatiske nåleformede krystaller. Trolig identisk med fase a (diaoyudaoitt).

Matrix

- a. Prismatiske nåler av samme utseende som de store prismatiske krystallene.
- b. Isotrope krystaller, opptil 0,1 mm, med sekskantet tverrsnitt.
- c. Opake, men brunlige i meget tynne snitt, skjellett-dendrittiske krystaller. 0,01 mm store, men krystallene er vokst sammen i lange, dendrittiske rekker opptil 0,2 mm lange. Isotrop. Enkeltkrystaller har tilsynelatende oktaedrisk tverrsnitt.
- Opak fase som er kraftig blå i meget tynne snitt eller konoskopisk lys. Isotrop. Krystallene har rektangulært tverrsnitt.
- e. Interstitiell, grå matrixfase. Likner analcim i mikroskopet.

Glass

Meget små mengder med mistenkt glass i matrix viser seg å være en grålig silikatfase. Glass er ikke positivt påvist.

Forvitring

Ingen tegn til forvitring observert



Figur 2.3 Tynnslip (0,03mm tykk plpate) av Søve slagg 1. To krystalline hovedfaser sees tydelig: Langprismatisk diaoyudaoitt og gulaktige oktaedre av spinell. Skalaen er 1cm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3 Søve slagg 1. Oktaedriske krystaller av Mg-Al-spinell med opake inneslutninger av ferroniob. Skalaen er 1mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.1e Søve slagg 1. Prismatisk diaoyudaoitt med ferroniobinneslutninger (svart). X-nicols. Skalaen er 0,5mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.1f Søve slagg 1. Ferroniobinneslutninger (svarte "busker") i diaoyudaoitt. Skalaen er 0,2mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.1g Søve slagg 1. Ferroniob-avblanding i diaoyudaoitt. Skalaen er 0,2 mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.1h

Søve slagg 1. Matrixoksider i konoskopisk lys ved høy forstørrelse. Blåfargete krystaller (B) er et Ca-Ti-Ta-Nb-oksid. Skjellettkrystallene med brunlig farge (R) er U og Th rike Ca-Zr-Ti-Ta-Nb-oksider. Det er i disse godt krystalline, uforvitrete oksidene uran og thorium finnes i slagget. Skalaen er 0,1 mm. Foto: S. Dahlgren.

2.3.2 Søve slagg 2

Makroskopisk beskrivelse

Slagget er brunt, glinsende og med tilsynelatende svært grove krystaller som har vokst i en retning (figur 2.3.2a).

Mikroskopi

Tekstur og krystallstørrelse

Slagget er helt krystallint, tilsynelatende meget grovkornet og har en sterkt retningsbestemt dendrittisk krystallvekst (figur 2.3.2b).

Hovedfaser

Det er to hovedfaser:

Hibonitt. Langprismatiske krystaller med dendrittisk vekst. a. Krystallene er tilsynelatende minst 2 cm lange, men i tynnslip viser det seg at krystallene består av segmenter ca 3-5 mm lange som er anordnet på rekke. Krystallene er sterkt pleokroiske fra blå-turkis til skittenhvit (figur 2.3.2c). Kjerner av samme prismer, og også separate prismer er ikke pleokroiske, men likner ellers teksturelt og krystalliserte omtrent samtidig med de pleokroiske. Inneslutninger av to typer: 1. Metalldråper (ferroniob)(figur 2.3.2d), og 2. Dendrittiske, buskliknende (som også består av niob).



Figur 2.3.2a Makrofoto av Søve slagg 2. Grovkrystallin struktur. Skalaen er 1cm. Foto: S. Dahlgren.

Grågule krystaller opptil 1 mm i diameter. Tilsynelatende koplet b. sammen til dendrittiske rekker. Isotrope; med anomal utslokning?

Matrix

- Fine prismatiske nåler av både hvit og blå-pleokroisk type. Trolig a. samme faser som de grove krystallene.
- b. Grå interstitiell matrixfase. Al-silikat.
- Opake krystaller. Ca 0,1 mm. Isotrop. Brunrøde i konoskopisk lys. с
- Opake krystaller. Ca 0,1 mm. Isotrop. Dyp blå i meget tynne snitt d. eller konoskopisk lys.

Glass Glass er ikke påvist.

Forvitring Ikke påvist



Figur 2.3.2b

Tynnslip (0,03 mm tykk plate) av Søve slagg 2. Grovkrystallin slagg med lange, blå prismatiske krystaller av hibonitt. Skalaen er 1cm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.2c Søve slagg 2. Prismatiske hibonittkrystaller med blå pleokriosme. Skalaen er 1mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.2d Søve slagg 2. Dråper av ferroniob i hibonittkrystall. Skalaen er 0,1mm. Foto: S. Dahlgren.

2.3.3 Søve slagg 3

Makroskopisk beskrivelse

Slagget er gråbrunt og jordaktig. Kornstrørrelsen varierer fra meget finkornet til grovkornet. Dette slagget inneholder karakteristiske gullgule globuler av ferroniob (figur 2.3.3a).

Mikroskopi

Tekstur og krystallstørrelse

Meget heterogen kornstørrlese, fra nokså grovkornet til finkornet (figur 2.3.3b). Finkornete partier inneholder globuler av ferroniob. Globulene er helt sfæriske og er åpenbart et resultat av væske-ublandbarhet, dvs. mellom FeNb metallsmelte og slaggsmelte.

Hovedfaser

a. Langprismatiske krystaller, 5mm, med blå pleokroisme i de grovkornete partiene (2.3.3c). None har kjerner av hvite, ikke pleokroiske krystaller. Slike hvite prismer forekommer også som separate krystaller uten pleokroisk overvekst. Inneslutninger av to typer: 1.Metalldråper (ferroniob), og 2. Dendrittiske, buskliknende (som også består av niob).



Figur 2.3.3a

Makrofoto av Søve slagg 3. Ferroniobglobuler (messinggule metalliske) i matriks av ulike oksidfaser. Skalaen er 1cm. Foto: S. Dahlgren.

- b. Kortprismatiske krystaller, 0,05 mm, også med blå pleokroisme i de mer finkornete partiene. Trolig samme fase som a.
- c. Globuler (sfæriske legemer) av ferroniob, 1-3 mm i diameter.
- d. Isotrop fase lik den i slagg 2. 0,2 mm diameter.

Matrix

- a. Nåler av blå, pleokroiske prismer
- b. Opake, skjellettvokste krystaller, brune i konoskopisk lys. Isotrop.
- c. Opake, blå krystaller i konoskopisk lys. Isotrop.
- d. Grå, interstitiell fase (Al-silikat)

Et autoradiografisk opptak (slaggprøve lagt direkte på røntgenfilm og eksponert i døgn) viser at de radioaktive fasene er i matrix (figur 2.3.3d).

Glass Ikke påvist

Forvitring Ingen spor



Figur 2.3.3b

Tynnslip (0,03mm tykk plate) av Søve slagg 3. Heterogen kornstørrelse er typisk for enkelte slagg. Ferroniob-globuler (svarte) er omgitt av finkornete prismatiske krystaller av diaoyudaoitt og hibonitt. Skalaen er 1cm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.3c

Søve slagg 3. Ferroniobglobul (svart) omgitt av prismatiske krystaller av hiobonitt (blå) og diaoyudaoitt (hvit). Skalaen er 1mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.3d

Søve slagg 3. Autoradiografi. Mørk farge viser røntgenfilm svertet av radioaktivitet, mens lyse farger viser områder av slagget som ikke er radioaktivt. Opptaket viser klart at de radioaktive fasene er i matrix. Ferroniob (sirkulære hvite områder) og langprismatiske krystaller ikke radioaktive. Skalaen er 1cm. Autoradiografiopptak ved A.O. Larsen.

2.3.4 Søve slagg 4

Makroskopisk beskrivelse

Gråsvart, meget tett, finkornet slagg med enkelte mm-store ferroniobglobuler.

Mikroskopi

Tekstur og krystallstørrelse

Meget finkornet slagg med enkelte ferroniob-globuler (figur 2.3.4a)

Hovedfaser

- a. Fargeløse, korte prismer, 0,2 mm (figur 2.3.4b og c).
- b. Fargeløse, lange prismer, 1-2 mm. Kan være samme fase som a.
- c. Ferroniob-globuler. Opptil 3 mm i diameter.

Matrix

- a. Nåleformete krystaller. Fargeløs.
- b. Skjellettvokst, opakt mineral. Brunt i konoskopisk lys. Kjeder av skjellettkrystaller 100-200 μ m. Isotrop. (Figur 2.3.4d og e).
- c. Skjellettvokst eller rektangulære krystaller av opakt mineral som er blått i konoskopisk lys. Opptil 200 μm. Isotrop. (Figur 2.3.4d og e).
- d. Grå matrixfase (Al-silikat)

Glass Ikke påvist.

Forvitring Ikke påvist.



Figur 2.3.4a

Tynnslip (0,03mm tykk plate) av Søve slagg 4. Slagget er meget finkornet med enkelte ferroniobglobuler (svart sirkulært område). Skalaen er 1cm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.4b Matrixoksider sett i tynnslip i konoskopisk lys i Søve slagg 4. Blå dendritisk krystall er et Ca-Ti-Ta-Nb-oksid. De rødbrune skjellettkrystallene er U og Th rike Ca-Zr-Ti-Ta-Nb-oksider. Skalaen er 0,02 mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.4c Prismatiske diaoyudaoittkrystaller i Søve slagg 4. Paralellt lys. Skalaen er 0,5 mm. Foto: S. Dahlgren.



Figur 2.3.4d Prismatiske diaoyudaoittkrystaller i Søve slagg 4. Polarisert lys. Samme utsnitt som figur 2.3.4c. Skalaen er 0,5 mm. Foto: S. Dahlgren.

2.3.5 "Vaskerijord", Søve 5

Dette "vaskerijord" og ikke slagg. Prøven av "jordsmomn" inneholder finknuste niobmineraler (fra oppredningsanlegget), rustflak, malingflak, betongbiter, glasskår, diverse humus etc. Prøven ble vasket for humus og åpenbare glassbiter, maling etc ble fjernet så godt det lot seg gjøre før prøven ble analysert.

2.3.6 Søve slagg 6

Enkelte slaggprøver har karakteristiske, sekskantede, plateformede krystaller på overflaten av ellers grov til middelskornet slagg. Det er ikke laget tynnslip av denne prøven, men et XRD opptak ble utført (se seinere avsnitt).



Heksagonale, plateformede krystaller av et Mg-Al-oksid (diaoyudaoitt) på overflaten av Søve slagg 6. Skalaen er 0,5mm. Foto: S. Dahlgren.

2.3.7 Slaggmikroskopi- oppsummering

Hovedkonklusjoner fra mikroskopiering av tynnslip av slagget:

- Slagget er fullstendig krystallint.
- Det er identifisert 2 prismatiske krystalline hovedfaser (diaoyudaoitt og hibonitt), samt spinell.
- Kornstørrelsen varierer fra finkornet til temmelig grovkornet (cmstørrelse).
- Sterk retningsbestemt krystallvekst forekommer i enkelte slaggprøver, mens andre har ingen foretrukken orientering av krystallene.
- Matrix er også sammensatt av ulike krystalline faser. To tilsynelatende opake faser, som er henholdsvis kraftig dypblå og rødligbrune i konoskopisk lys, viser dendrittisk / skjellett vekst. Et grått interstitielt mineral forekommer som siste utkrystalliserte fase. Dette veiser seg å være Al-silikater (se avsnitt om EMPanalyser).
- Teksturene er ulikevektsteksturer dannet ved rask krystallisasjon. Dette er jo også å forvente siden slaggene ble raskt avkjølt.
- Ferroniobglobuler forekommer i noen slaggprøver. FeNbmetallglobulene var ublandbare med aluminiumoksid-slagget.
- Slagget viser ingen tegn til forvitring / oppløsning.



Dendrittisk krystall av Ca-Ti-Ta-Nb-oksid i matrix i Søve slagg 4. Konoskopisk lys. Skalaen er 0,02 mm. Foto: S. Dahlgren.

2.4 Røntgendiffraksjonsanalyser (XRD)

En røntgendiffraksjonsanalyse av naturlige bergarter viser hvilke mineraler (naturlige krystalline faser) bergarten består av. En del mineraler (for eksempel pyroksener, amfiboler) forekommer i naturen som solid-solution mellom flere endeledd-komponenter. Dette gir komplekse mineraler og gjør det komplekst å tolke XRD-opptakene. Fordelen i naturlige bergarter er at en vanligvis relativt raskt kan avgjøre hvilke faser og endeledd en har med å gjøre ved å sammenlikne data fra mikroskopi, XRD og elektronmikroskop.

Slagget har kunstige krystalline faser (flere av dem av dem er ikke kjent som naturlig forekommende) og lar seg ikke uten videre bestemme med mikroskopi. De krystalline fasene i slagget kan også være vanskelige å bestemme med XRD pga at de er blandingsrekker mellom to eller flere endeledd hvor flere kjemiske elementer substituerer for hverandre.

Glass er ikke påvist med XRD.

Nedre deteksjonsgrense avhenger av hvilken fase det er, men generelt må det være et innhold på 1% eller mer.

2.4.1 Niobkonsentrat; Nb-kons

Røntgendiffraktogrammet viser at dette niobmineralkonsentratet består av pyroklor, kolumbitt og fersmitt. Konsentratet inneholder sannsynligvis mye mer pyroklor enn det de små toppene tyder på. Dette fordi det meste av pyrokloren er metamikt og derfor ikke gir refleksjoner på røntgenopptaket. Andre metamikte faser kan naturligvis også være til stede uten at de oppdages på XRD. Det er også påvist litt zirkon (Zr₂SiO₄) og rutil (TiO₂) i konsentratet. Dette er tungmineraler som finnes i de fleste bergarter inkludert i søvitt (Diffraktogram appendiks A2.1)

2.4.2 Slaggprøver; Søve 1, 2, 3, 4 og 6.

XRD-diffraktogrammene (appendiks A2.2a-e) tyder på at følgende faser forekommer i slagget (bestemt av A.O.Larsen):

- Diaoyudaoitt, NaAl₁₁O₁₇
- Natrium-magnesium-aluminium-oksid, NaMg₂Al₁₅O₂₅
 - Hibonitt, (Ca, Ce)(Al, Ti, Mg)₁₂O₁₉, hexagonal
 - Magnesium-aluminium-cerium-oxid, MgAl₁₁CeO₁₉
 - Spinell, MgAl₂O₄
 - Perovskitt, CaTiO
 - Loparitt-Ce, CeTiO₃
 - Lueshitt, NaNbO₃
 - Calsium-tantal-oxid, CaTa₂O₆
 - Pyroklor, $(Ca,Na)_2(Nb,Ti)_2O_6F$
 - Perrieritt, (Ce,Ca)Fe(AlTi)TiSiO

2.4.3 "Vaskerijord"; Søve 5

Denne prøven gir er et særdeles komplisert diffraktogram som er vanskelig å tyde. (appendiks A2.3). Det er heller ikke noen overraskelse siden dette var "jord" med mye søppel i (rustflak, betongbiter etc) fra den gamle vaskeritomta. Det er imidlertid mulig å påvise niobmineralene kolumbitt og pyroklor som nok stammer fra vaskeriprosessen. Det er også påvist korund (Al_2O_3) og ferrosilitt (FeMg)SiO₃ og kvarts (SiO₂). Korund og ferrosilitt kan være avfall fra industriprosessen på Søve, mens kvarts finnes overalt i naturlig jordsmonn i distriktet. Ingen av disse tre siste mineralene er miljøfarlige.

Radioaktiviteten i dette jordsmonnet skyldes forekomst av pyroklor og kolumbitt. Miljøkonsekvensene av dette diskuteres i et seinere avsnitt.

Tabell 2.4.2

Fase	Søve Slagg – 1	Søve Slagg – 2	Søve Slagg – 3	Søve Slagg – 4
Diaoyudaoitt	M	V	V V	V
Hibonitt	М	_	-	-
MgAl-spinell	V	_	_	_
Perovskitt	-	S	S	S
Loparitt-Ce	-	S	S	S
Calsium-tantal-oxid	М	_	_	_
Pvroklor	М	_	-	S
Magnesium- aluminium-cerium-oxid	-	М	М	S
Perrieritt	_	S	-	-

V = Forekommer i større mengder

M = Forekommer i "middels" mengder

S = Forekommer i små mengder

De krystalline fasene er ganske like i de fire slaggprøvene, men Søve-1 skiller seg litt ut fra de andre. Dette henger sammen med det relativt høyere magnesiuminnholdet i dette slagget.

De heksagonale, plateformede krystallene på overflaten av Søve slagg 6 (avsnitt 3.2.6) er av okidet NaMg₂Al₁₅O₂₅.

XRD-diffraktogrammene er vist appendiks A2

2.5 Elektronmikrosonde (EMP)

Til sammen 112 analyser med elektronmikrosonde (EMP) er utført på alle de krystalline fasene som er observert ved polarisasjonsmikroskopstudier av 4 slaggprøver. EMP er et elektronmikroskop som analyserer kvantitativt den kjemiske sammensetningen i et område med en diameter på ca 5 μ m på overflaten av en (mineral) fase i et polert tynnslip av slagget. I tillegg til de kvantitative analysene er det foretatt systematiske backscatterscan spesielt med hensyn på å lokalisere forekomster av tunge elementer som U, Th, Nb, Zr, Ta og eventuelle andre.

Til stor forskjell i fra mineralfaser i naturlige bergarter, som i stor grad er ulike silikatmineraler, så inneholder slagget svært lite silisium og derved ikke silikater. De fleste krystalline fasene i slagget er forbindelser hvor aluminium inngår som en mer eller mindre viktig bestanddel. Det er sannsynlig at flere kjemiske elementer substituerer for hverandre i fasene i slagget. Det er også sannsynlig at det er koplete substitusjoner hvor to eller flere elementer substituerer for andre elementgrupper.

For å identifisere hvilke faser vi har med å gjøre, spesielt der hvor uran og thorium inngår, må EMP-data koples med informasjon fra XRD data. Dette er ikke trivielt siden XRD-opptakene er tatt opp fra knust totalt slagg og derved viser et diffraktogram der alle de krystalline fasene er til stede. EMP-analysene er derimot foretatt på deler av enkeltkrystaller som observeres i tynnslip.

EMP-analysene er listet i appendiks A3.

2.5.1 Aluminium-oksider

Aluminiumoksider er volummessig de dominerende krystalline fasene i slaggene.

2.5.1.1 TiBaMg-diaoyudaoitt

Dette aluminiumoksidet forekommer i alle slaggprøvene og er hovedoksidet. Dette mineralet er langprismatisk og fargeløst uten pleokroisme. Ideell diaoyudaoitt har formelen NaAl $_{11}O_{17}$.

I slaggprøvene er Na substituert med noe BaO (0-14,0 %), og aluminium med TiO₂ (0-1,5 %) og MgO (0-11,1 %). Figurene 2.5.1a og 2.5.1b indikerer substitusjonsmekanismer som gir formelen: $(Ba,Na)(Ti,Mg,Al)_{11}O_{17}$. Strukturformel for en representativ diaoyudaoitt-analyse (Søve slagg 1) blir:

(Na_{0.5}Ba_{0.5})(Al_{10.2}Mg_{0.7}Ti_{0.1})O_{16.95}

Analyser i appeniks A3.1a-c



Figur 2.5.1

Substitusjonsmekanismer i diaoyudaoitt fra Søve slagg. Dette indikerer at Ca og Ba substituerer for Na og at Ti og Mg substituerer for Al. Data i appendiks A3.1.

2.5.1.2 Hibonitt

Dette er de blå pleokroiske krystallene observert i Søve Slagg 2 og 3. Hibonitt har ideell formel

I hibonitt fra Søve slagg inngår også Th, Zr, Nb og Ta. Formelen for en representativ analyse (2B-1) fra slaggene blir:

 $(Ca_{0,73}Na_{0,06}Th_{0,03}Zr_{0,02}La_{0,02}Ce_{0,10}Nd_{0,02}Pr_{0,01})(Al_{11,41}Ti_{0,31}Nb_{0,03}Ta_{0,01}Mg_{0,25})O_{19,17}$

Svært små mengder Th (og nesten ikke analyserbare mengder U) går inn i gitteret i hibonitt-krystallene. Elementparene Th – Zr og Nb – Ta er, basert på vurdering av valens og ioneradius, allokert til 2 ulike posisjoner i strukturformelen.

Analyser i appendiks A3.2.

2.5.1.3 MgAl-spinell

Et gulaktig, isotropt oksid er spesielt vanlig i det magnesiumrike Søve slagg 1. Dette er en rein MgAl-fase som trolig er MgAl-spinell. Denne er imidlertid ikke støkiometrisk. Bare 2 analyser er utført, og jern ble ikke analysert, og gir strukturformel:

Mg_{0.90}Al_{2.09}Ti_{0.01}O_{4.05}

Analyser i appendiks A3.2.

2.5.2 Ca-Na-Ba-Al-silikater

Det er påvist tre ulike Ca-Na-Ba-aluminiumsilikater som matrixmineral i slaggene:

2.5.2.1 Ca-Ba-Carnegieitt

Denne fasen er nesten ideelt støkiometrisk med formel

$$(Ca_{0.02}Ba_{0.04}Na_{0.92})Al_{1.04}Ti_{0.02}Si_{0.96}O_{4.04}$$

På tross av et SiO₂-innhold på bare 39,57 % er det dette silikatet som har høyeste silisium-innholdet. Til forskjell fra naturlig nefelin inneholder dette silikatet (og hele systemet) ikke kalium og derved har dette silikatet krystallisert med Ba og Ca. Dette tyder på en anortitt-struktur, og siden dette slaggsystemet ble avkjølt fra over 2000 °C er det sannsynlig at dette silikatet er den kunstige fasen carnegieitt. (Nærmere studier av XRD-opptak i ettertid viser små topper som kan relateres til carnegieitt, mens nefelintopper ikke finnes).

2.5.2.2 (Ba,Ca,Na)₄Al₆Si₄O₂₀

Dette silikatet har tilnærmet denne formelen, men det er ikke klart om det har noen ekvivalent i naturen. SiO₂-innholdet varierer fra 30-32,5 %.

2.5.2.3 (Ba,Ca)NaAl,SiO

Dette silikatet har lavest \dot{SiO}_2 -innhold av de påviste Ba-Ca-Na-Al-silikatene: 18,7-21 %

Analyser av alle silikatfasene i appendiks A3.3

2.5.3 Metallisk FeNb

Metallisk ferroniob forekommer som globuler (sfæriske legemer) som er synlig for øyet. Niob forekommer også metallisk som svært små legemer innesluttet i aluminiumoksid-fasene.

2.5.3.1 Metalliske FeNb globuler

FeNb-globuler fra Søve 3 og 4 er analysert. Det viser seg at disse metalliske globulene ikke består av en fase, men flere FeNb-faser (figurene 2.5.3 a og b):

FeNb-globulene inneholder opptil 2 % tantal, jern varierer mellom 0,32 og 41,7 % og niobinnholdet er fra 50,75 til 98,5 %. Siden en del av analysene ikke summerer til 100 %, og det ikke er påvist andre metaller må det inngå metalloksider av Fe eller Nb(Ta) i legeringen.

2.5.3.2 Metalliske Nb avblandinger og inklusjoner

Noen buskliknende / dendrittiske opake faser i diaoyudaoitt, hibonitt og spinell krystaller er trolig avblandinger og BSE-scan viser at de består kun av niob. Det samme gjelder globuler som forekommer som inneslutninger i samme type krystaller. Det er ikke utført noen omfattende analyser av disse. Det kan være Nb-metall, men et kan ikke utelukkes at de er Nb-oksider eller begge deler.

Analyser i appendiks A3.4.



Figur 2.5.3a

Backscatterimage av ferroniobglobul i Søve Slagg 3. Ulike grånyanser viser ferroniobdomener som har ulik kjemisk sammensetning. Domener med lys farge har høyere innhold av Nb enn områder med mørkere farge. Skala 100 mikrometer. Foto: M.Erambert.



Figur 2.5.3b

Ferroniobglobulene består av ulike domener hvor Nb, Ta og Fe inngår i ulike proporsjoner. Søylediagrammet viser proporsjonene mellom Nb (blå), Ta (rød) og Fe (gul) for hver analyse.

Data fra ulike domener i globuler i Søve slagg 3 og 4; appendiks 3.4.

2.5.4 Titan-zirkonium-niob-oksider med tantal, uran og thorium

De skjellettvokste matrixfasene som er blå og rødbrune i konoskopisk lys ved høy forstørrelse er oksider av titan, zirkonium og niob (figurene 2.3.4b og 2.5.4). Det er i disse fasene uran og thorium forekommer. I tillegg inneholder disse fasene tantal og lantanidelementer. Den kjemiske sammensetningen til disse oksidene er svært kompleks. Det er åpenbart flere substitusjonsmekanismer som opptrer. Skjellettkrystallene viser også at dette var krystaller som vokste raskt og det kan være at disse oksidene er ikke-støkiometriske. Pyroklor inneholder også en hydroksy-, oksy- eller fluor-gruppe. Det framgår ikke av EMP-analysene om matrixmineralene i slagget har slike grupper, noe som gjør det vanskeligere å beregne strukturformel.

Sannsynligvis har de opake matrixoksidene i slagget pyroklor-betafitturanpyroklor eller perovskitt-lueshitt-loparitt-struktur. Andre muligheter er fersmitt eller zirkonolitt. Analysene er delt i to grupper (blå og rødbrun i mikroskop), som igjen vil bli delt i henholdsvis to og tre undergrupper fordi de viser ulike kjemiske karakteristika. Noen enkeltanalyser faller i tillegg utenfor disse kategoriene, men de analysene har lave summer og kan være av dårlig kvalitet.

Ideelle formler for naturlig forekommende mineraler av typer som er aktuelle for sammenlikning med oksider i slagget:

Pyroklor-gruppen:

Pyroklor	$(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)$
Uranpyroklor	$(U,Ca,Ce)_2(Nb,Ta)_2O_6(OH,F)$
Betafitt	(Ca,U) ₂ (Ti,Nb,Ta) ₂ O ₆ (OH,F); hvor 2Ti>Nb+Ta

Perovskitt-gruppen:

Perovskitt	CaTiO ₃
Lueshitt	NaNbO ₃
Loparitt	(Ce,Na,Ca) ₂ (Ti,Nb) ₂ O ₆
Latrappitt	(Ca,Na)(Nb,Ti,Fe)O ₃
	2
Fersmitt:	(Ca,Ce,Na)(Nb,Ta,Ti) ₂ (O,OH,F) ₆
Zirkonolitt:	(Ca,Ce)Zr(Ti,Nb,Fe) ₂ O ₇

For sammenlikningens skyld er "strukturformler" med basis i 4 kationer (som er tilfelle for pyroklor) beregnet for alle de ulike gruppene og ført opp nedenfor.

Strukturformlene for gruppe 1 oksider er derfor korrekte, mens de for gruppe 2 oksider kun er ment som et utgangspunkt for sammenlikning.

2.5.4.1 Gruppe 1: Ti-Nb-oksider

Disse er blå i konoskopisk gjennomfallende lys i mikroskop og har blå farge i reflektert lys. Dette kan være oksider i pyroklorgruppen som er en komplisert gruppe oksider. Oksidene i slagget kan være en blanding av pyroklor, uranpyroklor og et betafittliknende (Ti-førende) oksid.

Karakteristika for oksidene i slagget:

1a. Ca-Ti-Ta-Nb-oksid

Dette oksidet har et relativt høyt Ti innhold: Ti ~ 2Nb $(Ca_{1,29}Na_{0,36}Ce_{0,14}U_{0,02}Th_{0,12}Zr_{0,08})(Ta_{0,20}Nb_{0,53}Ti_{1,03})O_{6,34}$

Analyser i appendiks A3.5a

1b. Ca-Na-Ti-Ta-Nb-oksid

Dette oksidet har et høyere Na-innhold enn gruppe 1a og Ti-Nb forholdet er motsatt: Nb ~ 2Ti $(Ca_{1,28}Na_{0,54}Ce_{0,02}Th_{0,01}Zr_{0,08}Al_{0,09}Mg_{0,02})(Ta_{0,12}Ti_{0,61}Nb_{1,23})O_{6,51}$

Analyser i appendiks A3.5a

2.5.4.2 Gruppe 2: Ti-Zr-Ta-Nb-oksider med U og Th

Disse oksidene er rødligbrune i gjennomfallende konoskopisk lys i mikroskop og har hvit refleksjon i påfallende lys.

2a. Ca-Zr-U-Th-Ti-Ta-Nb-oksid

Denne gruppen har høyest innhold av ${\rm U}$ og Th av alle analyserte faser.

 $\label{eq:constraint} \begin{array}{l} U \sim Th \\ Zr > U + Th \\ Nb > Ti \\ (Ca_{1,16} Zr_{0.83} Th_{0.34} U_{0.31} Ce_{0.02} Nd_{0.02} La_{0.01} Al_{0.04}) (Ta_{0.15} Ti_{0.41} Nb_{0.70}) O_{7.06} \end{array}$

Analyser i appendiks A3.5b

2b. Ca-U-Th-Ti-Ta-Nb-oksid

Denne gruppen har mindre Zr enn gruppe 2a, og har nest høyest U og Th innhold. Nb ~ 3Ti U ~ Zr U / Th ~ 2 / 3 (Ca_{1.19}Na_{0.03}U_{0.21}Th_{0.31}Zr_{0.21}La_{0.02}Ce_{0.06}Nd_{0.03}Pr_{0.01}Al_{0.11}Mg_{0.03})(Ta_{0.24}Ti_{0.38}Nb_{1.19})O_{7.24}

Analyser i appendiks A3.5b

2c. Ca-Ti-Zr-oksid

 $\begin{array}{l} \mbox{Meget høyt } Zr, \mbox{ mens } U \mbox{ og } Th \mbox{ er mye lavere enn } i \mbox{ 2a og } 2b. \\ Zr > Ca \\ Ti \sim 3Nb \\ (Ca_{0,71} Zr_{1,14} U_{0,05} Th_{0,04} Al_{0,23}) (Ta_{0,02} Nb_{0,43} Ti_{1,37}) O_{7,37} \end{array}$

Analyser i appendiks A3.5b



Figur 2.5.4

Backscatter elektronimage av matriksoksider i Søve slagg 1, område a2. Oksider med høyt innhold av tunge elementer (U, Th, Nb, Ta, Zr) har lys farge.

A = Nb-Ta-Th-U-Zr-Ca-oksid

B = Nb-Ta-Ti-Ca-oksid

Skala 100 mikrometer. Foto: M. Erambert.

2.5.5. Kjemisk sammensetning av krystalline faser – oppsummering

De krystalline hovedfasene i slagget er alle aluminiumoksider:

 Mg-Ti-Ba diaoyudaoitt er klart den dominerende krystalline fasen.

- Mg-Ti-Ce-Hibonitt er vanlig i enkelte slaggprøver
- MgAl-spinell er lokalt vanlig.

De samme aluminiumoksidene inngår også som matrixfaser i variable mengder.

Svært små konsentrasjoner av thorium, og enda mindre mengder uran, inngår i hibonittkrystallene.

Alle hovedfasene er anhydrøse.

De eneste forekommende silikatfasene er Ba-Ca-carnegieitt og andre uidentifiserte Ba-Ca-Na-aluminiumsilikater som forekommer i begrenset mengde i matrix.

Ferroniobglobulene inneholder litt tantal i tillegg til jern og niob. Globulene består av domener hvor Fe-Nb forholdet varierer sterkt. I noen av domenene summerer Fe-Ta-Nb metall til 100 %. I andre domener er summene lavere og noe av metallet forekommer trolig som oksid.

Ferroniob og Nb metall forekommer også som i inneslutninger/avblandinger i krystaller av de ulike aluminiumoksidene.

Jern inngår knapt i målbare konsentrasjoner i noen av de forekommende krystalline oksidene, noe som viser at det var en forbløffende god partisjon av Fe til FeNb smelten.

NbTaZrTiCeUTh-oksider forekommer i svært små (ca 0,2 mm store) skjellett-krystaller jevnt fordelt i matrix. Disse oksidene er klassifisert i 2 grupper. Gruppe 1 (som er delt i to undergrupper) har trolig pyroklorstruktur, mens gruppe 2 (som igjen er delt i 3 undergrupper) kan være oksider med perovskitt-loparitt-latrappitt-lueshitt liknende struktur.

Uran inngår i to av gruppe 2 oksidene: 2a: U₂O₃ = 15,6 - 18,2 % 2b: U₂O₃ = 7,4 - 11,2 %

I de andre gruppe 1 og 2 oksidene er uraninnholdet svært mye lavere.

Thorium inngår gruppene: 1a: Pyroklorstruktur, Th $O_2 = 7-9 \%$ 2a: Th $O_2 = ca \ 17 \%$ 2b: Th $O_3 = 13,7-16,5 \%$

Tantal ser ut til å oppføre seg kjemisk annerledes enn niob. Tantal anrikes relativt kraftig i slagget (anrikningsfaktor for slagg / niobkonsentrat = 4,5; tabell A3), og finnes i konsentrasjoner på opptil 10 % i gruppe 1 og 2 oksider.

3. MILJØGEOLOGISKE VURDERINGER

De nye dataene blir brukt til å vurdere miljøkonsekvenser for følgende problemstillinger:

- Slagghaugene ved gammelt ferroniobproduksjonsanlegg
- "Vaskerijord" ved gammelt vaskeri / oppredningsanlegg
- Kalkavgang til slamdammer og Norsjø.
- Konsekvenser for drikkevann i Norsjø.

3.1 Slagghaugene ved gammelt ferroniobproduksjonsanlegg

Uran, Thorium, Gammastråling og Radon

Dette studiet bekrefter tidligere beskrivelse (Stranden 1982) av det høye innholdet av uran og thorium i ferroniobslaggene. Den gamle ferroniobproduksjonshallen og det gamle laboratoriebygget er ikke bygget oppå slagghaugen. Slaggene ble deponert utenfor bygningene. Selv om dette slagget er uvanlig radioaktivt og avgir en god del radongass er det ingen fare forbundet med kortere opphold på haugen. Problemer vil imidlertid være sannsynlig dersom noen skulle bygge hus oppå disse haugene eller grave ut massene og bruke dem som bygningsmaterialer. Se mer om dette under seinere avsnitt om forslag til tiltak.

Slaggets sammensetning

Ikke noe glass er påvist i slagget, de undersøkte prøvene består utelukkende av krystalline faser. Hovedfasene består av aluminium og variable mengder magnesium, barium og natrium. I enkelte aluminiumrike faser er det opptil et par % lantanide-elementer. Silikater av aluminium, kalsium, natrium, barium forekommer som de seinest krystalliserte fasene i matrix i noen av slaggprøvene. Uran, thorium, niob, tantal, zirkonium og lantanide-elementer (inkludert yttrium) inngår i variable konsentrasjoner i ulike krystalline faser som ser ut til å være relativt jevnt fordelt i matrix i alle slaggprøvene.

Ferroniob-globulene i slaggprøvene består i variable proporsjoner med niob og jern. Tantal inngår i FeNb globulene med opptil 2 %. FeNb-globulene består av flere krystalline faser avblandet under avkjøling av jern-niob smelten. De ulike fasene i FeNb-globulene består trolig av blandinger med FeNb oksider og FeNb metall.

Forvitring

Tynnslipundersøkelser i polarisasjonsmikroskop tyder ikke på at noen av de krystalline fasene er forvitret i noen av slaggprøvene. FeNb-globulene har imidlertid ganske røffe korngrenser. Dette kan enten tolkes som at FeNb globulene har begynt å forvitre, eller det skyldes prøveprepareringen. Trolig er det sistnevnte årsak som er mest sannsynlig siden disse preparatene ikke var høypolert, noe som kreves for studier av legeringer / metaller.

Lekkasje og avrenning

Bortsett fra uran er det ikke påvist tungmetaller som vanligvis blir ansett som miljøfarlige i slagget. Det ligger utenfor rammen av dette studiet å vurdere de toksiske egenskapene til niob, tantal, uran, thorium, barium og lantanideelementer ved en eventuell lekkasje og avrenning fra slagghaugen. En avrenning av disse elementene fra slagghaugen vil måtte forutsette at regnvann som sildrer gjennom slagghaugen løser opp de krystalline fasene i slagget og fjerner metallioner løst i vann. De foreliggende undersøkelsene tyder på at dette ikke er noe problem så langt. Se under avsnitt for tiltak.

3.2 "Vaskerijord" ved gammelt vaskeri / oppredningsanlegg

Radioaktiviteten i "vaskerijord" ved det gamle vaskeriet/oppredningsanlegget skyldes innhold av niobmineralkonsentrat fra oppredningsprosessen som foregikk på stedet. Denne radioaktive "vaskerijorda" er i likhet med slagghaugen uønsket i miljøet. Se seinere avsnitt om forslag til tiltak.

3.3 Vaskeriavgang til slamdeponi og Norsjø

Totalt ble det tatt ut ca 1,15 millioner tonn søvitt i løpet av bergverksdriften på Søve. Over 90 % av dette, dvs over 1 million tonn, var kalkspat som gikk i vaskeriavgangen til slamdeponiet og Norsjø. Vi vet også at med avgangen fulgte ca 50 % av de niobmineralene søvitten opprinnelig inneholdt. Dette niobtapet er beregnet til ca 178 tonn i 1961. Antar vi at niobtabet for 1961 er representativt for alle årene var det totale niobtabet i hele driftsperioden ca 1960 tonn Nb₂O₅ som altså var finfordelt i drøyt en million tonn kalkspatavgang. Avgangen inneholdt også en del apatitt som er et fosfatmineral som er tungt løselig i vann (figurene 3.3a, b, c og d).

I årene etter at Søve Gruver ble nedlagt ble ganske mye av denne kalken tatt opp igjen fra bunnen av Norsjø og solgt som jordbrukskalk i distriktet. Hvor mye som ble tatt opp igjen og solgt er ikke kjent.

3.4 Konsekvenser for vannet i Norsjø

Det er svært lite sannsynlig at industriavfallet fra gruvedriften på Søve i perioden fra verkets nedleggelse til i dag har hatt noen negativ virkning på vannkvaliteten i Norsjø. Grunnene til dette er de små volumene med slagg / avfall, at de på grunn av sin krystalline sammensetning ikke lekker nevneverdig metaller til miljøet, samt at de enorme vannmengdene i Norsjø skiftes ut kontinuerlig. Nedenfor er noen spesifikke kommentarer til de ulike avfallstypene:

Vaskeriavgangen

Kalkspaten som gikk i avgang til Norsjø bidro naturligvis til en kraftig kalking av Norsjø. Norsjø ligger i en del av landet hvor det i 1960-70 årene var stor plage med sur nedbør og en massiv kalking ble derfor igangsatt for å redde fiskebestanden i mange vann. Kalken fra Søve Gruver som gikk i avgang til Norsjø hadde derfor etter all sannsynlighet en positiv miljøeffekt (figur 3.4). Når det gjelder apatitten i avgangen så er dette mineralet temmelig tungt løselig i vann, men siden det består av fosfat ville det kunne bidra litt til gjødsling av vannet i Norsjø. Antakelig er denne gjødslingseffekten langt mindre enn gjødsling ved avrenning fra jordbruksarealer.

Niobmineralene som gikk i avgangen var pyroklor, kolumbitt og fersmitt. Disse mineralene er ekstremt tungt løselige. I prosessen med å framstille "reint" niobkonsentrat ble jo konsentratet sendt fra Søve gruver til Norsk Hydro på Herøya for å fjerne fosfat (som Hydro trengte til kunstgjødselpr oduksjonen). Dette foregikk ved at konsentratet ble lagt i varm salpetersyre. Niobmineralene løste seg ikke opp og ble returnert til Søve og solgt direkte eller brukt videre til ferroniobproduksjonen.

Ved et forskningsopphold i Toronto, Canada, i 1989 utførte jeg eksperimenter med oppløsning av pyroklor fra Søve i syrer. Hensikten var å bruke pyroklor til radiometrisk aldersdatering av Fensfeltet. Disse eksperimentene er svært relevante for herværende problemstilling. Pyroklor som lå i en blanding av konsentrert flussyre (som løser glass ved romtemperatur) og 6 normal salpetersyre som var under høyt trykk og høy temperatur (180 grader C) i to uker ble overhode ikke løst. I en varm blanding av 2 normal svovelsyre og 6 normal saltsyre løste pyroklor seg etter 2 uker. Det er derfor helt urealistisk at niobmineralene skulle løse seg i vannet i Norsjø.

Siden niobmineralene er ekstremt tungt løselige er noe miljøproblem ikke å forvente fra disse mineralene i vann. En liten usikkerhet finnes imidlertid. Ved syreoppslutningen på Herøya var det et svinn av niob i løpet av syrebehandlingen. Dette kan skyldes at den industrielle prosessen medførte at en liten andel av mineralkonsentratet forsvant i et eller annet avløp, eller det kan bety at det forekommer metamikte niobmineraler som er løselige. I denne sammenheng var de eventuelt løselige i varm salpetersyre og ikke i vann.

Ferroniobslagg

Det er svært lite sannsynlig at avrenning av regnvann fra slagghaugen etter ferroniobproduksjonen fører til noen forringelse av kvaliteten på vannet i Norsjø. Foreløpig finnes det ikke noen direkte målte verdier for metaller oppløst i avrenning fra slagghaugen, men de foretatte slaggundersøkelsene tyder på en minimal lekkasje av metaller fra slagget. Vannføringen i bekken nedenfor slagghaugen er i størrelsesorden noen få liter i sekundet. Dersom dette vannet skulle inneholde oppløste metallioner vil disse bli ekstremt fortynnet straks det renner ut i Norsjø, noe som er åpenbart ved betraktning av følgende enkle tall:

- Vannet i Norsjø har et volum på 5100 millioner m³.
- Middelvannføringen er på 260 m³/s
- Det midlere årlige avløpet er 8092 millioner m³
- Teoretisk oppholdstid for vannet i Norsjø er bare 0,6 år.
- Elva gjennom Ulefoss, Eidselva, har en midlere årlig vannføring på 3223 millioner m³ (middelvannføring på 102 m³/sek).

Det totale vannreservoaret i Norsjø er altså på over 5 milliarder m³ som byttes ut nesten 2 ganger i året. Drøyt 3/8-deler av vanntilførselen til Norsjø kommer med Eidselva som sørger for en kontinuerlig utskifting av vannet utenfor Søve. Skulle det være en forurensingskilde på Søve som skulle bety noe negativt for vannkvaliteten i Norsjø måtte denne være av en helt annen størrelsesorden enn det som er mulig fra Søve.

Stabilitet av haugen

Slagghaugen har steile ytterkanter som følge av pålessing med jord og diverse avfall. Ved kraftig regnvær er det en viss risiko for at deler av haugen kan skli ut. Ved en eventuelt utglidning er det bare snakk om deler av haugen, og aller helst de delene av jord og annet som er lagt oppå slagget. Det er helt usannsynlig at haugen vil skli lenger ut enn til veien og i alle fall ikke ut i Norsjø. Dersom haugen sklir ut vil dette føre til at slagget blir spredt over et større areal og derved vanskeligere å rydde opp i. Dette vil også føre til at radioaktiviteten blir spredt over et noe større område, men det vil neppe føre til mer avrenning til Norsjø enn det som er tilfelle i dag.

Se for øvrig under kapittel 5 om oppfølging.



Figur 3.3a

Avgangsdeponiet ("slamdam") ved Søve gruver. Deponiet er fullt av kalkavgang, men det er uklart når fotografiet er tatt. Foto: T. Johnsens arkiv.



Figur 3.3b Fotografi fra heistårnet av demning og avgangsdeponi ut mot Norsjø. Foto: Ulefoss bibliotek arkiv.



Figur 3.3c

Vertikalfoto over Norsk Bergverks anlegg på Søve mai 1955. Dette er 2 år etter oppstarten. Avgangsdammen (a) er allerede ganske full. Driften er fremdeles bare over jord i Cappelenbruddet (c) og ferroniobverket er ikke oppført enda.



Vertikalfoto over Norsk Bergverks anlegg på Søve i juni 1967, to år etter bergverkets nedleggelse. Avgangsdammen (a) er overvokst av vegetasjon) og med bilveien tvers over) i nedre del. Jordbrukskalk tas ut fra deponi i Cappelenbruddet (c). Ved ferroniobproduksjonshallen (f) sees et ovalt område på østsida (s). Dette kan være den egentlige slagghaugen. I så fall er den mindre enn antatt.



Kalkavgang til Norsjø farget vannet hvitt under driftsfasen, men representerer ikke noe miljøproblem. Det bidro snarere til en motvirking av sur nedbør som var et problem i denne delen av landet i driftsperioden og tiden etterpå. Foto: Ukjent (utsnitt av figur 1.4).

4. VURDERINGER AV MULIGE TILTAK

Vurderingen av tiltak drøftes med utgangspunkt i to spørsmål:

- Hvilket avfall krever at det igangsettes tiltak?
- Hva bør skje med dette avfallet?

4.1 Hvilket avfall krever igangsettelse av tiltak?

To avfallstyper vil kreve tiltak:

- Ferroniobslagget
- "Vaskerijord" med niobmineralavfall ved det gamle oppredingsanlegget ("vaskeriet").

Det foreligger ingen indikasjoner på at ferroniobslagget kan ha vært brukt som fyllmasser under eller ved boliger i området. En kan imidlertid ikke se bort i fra muligheten. Dersom dette er tilfelle kan det medføre en betydelig helserisiko. Se under avsnittet om oppfølging.

Kalkavgang til slamdam og Norsjø ansees ikke som å være miljømessig problematisk. Noen tiltak for disse deponiene er derfor neppe nødvendig, men se også kommentarer under avsnittet om oppfølging.

4.2 Hva bør skje med avfallet?

Tiltakene vil deles inn i:

- Umiddelbare tiltak
- Tiltak på kort sikt.

Se figur 4.2a.

4.2.1 Umiddelbare tiltak

Dette er tiltak som påhviler kommunen og grunneier:

Nøyaktig oppmåling

Ferroniobslagghaugen og "vaskerijord" med niobmineraler må måles opp nøyaktig og kartfestes. Se også under avsnittet om oppfølging.

Bruk av slagget til fyllmasser

Det må sørges for at slagghaugen eller "vaskerijord" på det gamle oppredningsanlegget ikke graves i eller fjernes og brukes som fyllmasser. Massene må under ingen omstendighet brukes som materialer til boligformål.

Arealomdisponering

Områdene må ikke omdisponeres til annen arealbruk enn i dag.

Stabilitetsvurdering

Ferroniobslagghaugen har nokså steile ytterkanter mot søkket i øst. Det kan tenkes å skje en utglidning som følge av meget kraftig regnvær. Stabiliteten av haugen bør vurderes. Tiltak må sees opp mot hva slags langsiktig tiltak en velger for haugen. Det er ingen stabilitetsproblemer for den gamle vaskeritomta.

Leietaker ved Søve Mek Verksted må gjøres kjent med disse tiltakene.

4.2.2 Tiltak på kort sikt.

Dette er tiltak som burde påligge eierne og driverne av Søve gruver, dvs den norske stat.

Med kort sikt her menes så snart som mulig, men at tiltakene utføres etter oppfølgende undersøkelser og en grundig vurdering av løsningsalternativer. Varianter av fire hovedalternativer vil bli kort omtalt:

- Er slagghaugen en utnyttbar ressurs?
- Lagring på stedet
- Lagring i fjell lokalt
- Lagring i fjerndeponi

4.2.2.1 Er slagghaugene en utnyttbar ressurs for uran, thorium, niob, tantal og lantanide-elementer?

Siden ferroniobslagget inneholder betydelige mengder med metaller som har en høy pris på verdensmarkedet er det interessant å vurdere om slagget kunne foredles og brukes. Dette ville være en meget attraktiv løsning.

I tabell 4.2.2 er det beregnet totalinnhold av ulike elementer. Følgende forutsetninger er lagt til grunn:

- Det er totalt 570 tonn slagg.
- De fem prøvene som er analysert er representative
- Gjennomsnittsverdier fra analyser av slagget er brukt

Tabell 4.2.2

Oksid	Gjennomsnitt i slaggprøvene kg/tonn	Total mengde i slagghaugen tonn
U.O.	7,5	4,3
ThO,	17,0	9,7
Nb,O,	87,4	49,8
Ta,O,	13,4	7,6
ZrO,	18,0	10,3
(Ce,La,Nd,Y),O,	11,3	6,4
BaO	42,5	24,2

Dersom en skulle utnytte disse elementene i slagget må en separere dem fra uinteressante bestanddeler av slagget på en eller annen måte. Dette vil måtte innebære en oppmaling, fulgt av oppløsning (i syrer eller andre, kraftigere saker) og derpå følgende separasjon. Siden slagget trolig er meget tungt løselig vil dette være en utfordrende kjemisk prosess. Det vil bli meget dyrt å uteksperimentere en slik separasjonsprosess og deretter lage et fabrikkanlegg for å utføre oppløsningen og separasjonen. Konklusjonen er at slagget høyst sannsynlig har et for lite volum til at det vil være økonomisk forsvarlig sette opp en slik produksjonsprosess. Dette gjelder også om en antar at slagget har et volum på ca 1000m³ (se avsnitt 1.8 om kalkyler av volum ferroniobslagg). Alternativt kan en attraktiv løsning være å legge slagget i containere og transportere det til et eventuelt eksisterende fabrikkanlegg et eller annet sted i verden som kunne nyttiggjøre seg innholdet. Da får en utnyttet ressursen og blir kvitt slagget. Det er foreløpig ikke klart om slike anlegg finnes, men dette er en mulighet som bør sjekkes grundig. For å finne en slik "kunde" er de foreliggende EMP-analysene av matrixmineralene med særlig tantal, men også andre sjeldne metaller viktig for innsalget.

4.2.2.2 Lagring på stedet

To alternativer for lagring på stedet kan tenkes:

Inngjerding

Områdene gjerdes inn slik de ligger i dag og det lages bestemmelser for hvordan en forholder seg til disse områdene i framtida. Dette er en billig løsning, men anbefales ikke da dette neppe er en god løsning på lang sikt.

Innkapsling på stedet

Dette alternativet innebærer at slagghaugen og "jordsmonnet" på vaskeritomta dekkes over med for eksempel leire eller tykke jordlag. Dette vil være enkelt og rimelig, men det vil forutsette at det utføres på en slik måte at det ikke vil bli lekkasje av ulike elementer på lang sikt. Gjennomstrømning av vann med humussyrer fra vaskerijord vil imidlertid være sannsynlig og kan tenkes å gi en forsterket forvitringseffekt på slagget og derved lekkesjefare. Et annet alternativ kan være tildekking med betong.

Følgende to faktorer må vurderes grundig dersom en skal velge et tildekkingsalternativ:

- Stabilitet. Haugen må være garantert stabil på lang sikt.
- Drenering. Det må sørges for en god drenering av området.

4.2.2.3 Lagring i fjell lokalt

En åpenbar løsning er å kvitte seg med slagget og "vaskerijord" fra vaskeritomta ved å fjerne det og dumpe det i ei lokal gruve. Spørsmålet er da om slike gruver finnes. Følgende alternativer synes aktuelle for vurdering:

Lagring i Tveitobruddet

Dette ligger mellom det gamle Cappelenbruddet og Hydrobruddet ved Norsjø ca 250 m vest for vaskeritomta. Tveito maskin har drevet ut den østre delen av bruddet omtrent til Norsjø-nivå og driver for tiden og fyller hullet igjen med avfall. Sannsynligvis er dette hullet for lite til at det er aktuelt å deponere slagget her. Dette alternativet vil trolig ikke være en god løsning siden slagget vil også her komme nær dagoverflaten og derved flytter en bare på problemet.

Lagring i Tuftebruddet / Tuftestollen

Tuftestollen er en horisontal tunell på 1,3 km som går fra Norsjø til Tuftebruddet. Tuftebruddet er et stort "hull i bakken" ved Tufte og har steile vegger. Slagget kan tenkes dumpet i dette hullet eller kjørt et stykke inn i Tuftestollen.

Dette synes umiddelbart som en enkel og grei løsning, men det har en alvorlig konsekvens. Det er at luftgjennomstrømingen i dette gruvesystemet er fra syd mot nord, dvs. at lufta strømmer fra bruddet og nordover stollen til utgangen ved Norsjø. Det er allerede ganske høye radongassverdier ytterst i Tuftestollen hvor kommunen har lager (Stranden 1982). Dette skyldes at radongassen frigis fra stollveggene og stadig anrikes i den forbipasserende lufta. Luftgjennomstrømningen er såpass sterk at den kjennes som en svak vind ytterst i stollen.

Lagring av slagg og "vaskerijord" i Tuftebruddet eller Tuftestollen vil sannsynligvis føre til en meget kraftig økning av radongassinnholdet i gruvelufta her. Derfor synes lagring her å være et dårlig alternativ.

Gamle Søve synk

En synk som var drøyt 150 m dyp lå under heistårnet ved det gamle vaskerianlegget på Søve (figur 4.2a). Dette ligger ved siden av området med radioaktiv "vaskerijord" og bare ca 100 m unna ferroniobslagghaugen. Det ville derfor værer enkelt å skyfle det radioaktive slagget og "vaskerijorda" direkte ned i denne sjakta. Problemet er imidlertid at denne synken i dag er utilgjengelig. Den blei i praksis plugget igjen da det gamle heistårnet (som besto av betong og enorme mengder armeringsjern) ble sprengt ned og for det meste forsvant i synken. Det er derfor uklart om det er noe lagringsvolum igjen i denne synken. Uansett er synken plugget igjen fra toppen og dersom avfallet skal deponeres her må det lages en skråtunell på siden av den gamle synken for å komme under topp-pluggen. Det finnes trolig fremdeles noen personer som vet en hel del om denne synken og hvordan heistårnet plugger igjen toppen.

Vi vet også at det var horisontale gruveganger i flere nivåer ut fra hovedsynken. Ved å ta utgangspunkt i kart som viser beliggenheten av disse gamle gruvegangene kan det muligens la seg gjøre å lage en tunell fra overflaten til et slikt nivå (figurene 4.2b og c). Det bør foretas en utredning av dette alternativet basert på folk som vet noe om synkens tilstand (fra folk som arbeidet i gruva og fra dem som sprengte heistårnet). En mulig ulempe med å dumpe slagget ned i synken er at gjenværende søvittmalm i synken da ville bli utilgjengelig for en eventuell framtidig drift. Sannsynligheten for en drift på niob her i framtida er imidlertid svært liten.

Ny tunnell / synk?

Et annet alternativ er å sprenge en ny synk eller fjellhall i fjellknatten bak ferroniobproduksjonsanlegget og så lagre avfallet der. Dette er trolig ganske enkelt, det vil medføre omtrent ingen transport av avfallet og det vil ikke nødvendigvis bli dyrere enn andre aktuelle alternativer. Dette alternativet synes derfor å være meget effektivt og enkelt (figur 4.2a).

Lagring i Fen gamle jerngruver

Fen jerngruver ligger ca 1,5 til 2 km øst for Søve. De fleste av disse gruvene er små og uegnet for lagring av avfall. Storgruva, som var i drift fra 1650-årene har en stor kulturhistorisk interesse. Lagring i disse gruvene synes derfor å være uaktuelt.

4.2.2.4 Lagring i fjerndeponi?

Lagring i et fjerndeponi kan være et alternativ for avfallet fra Søve. Ulempen er at avfallet må transporteres langt. Dessuten finnes det trolig ikke noe åpenbart godt fjernlager-alternativ:

Himdalen

Anlegget i Himdalen er beregnet for avfall fra kjernereaktorer og fra medisinske formål. Lagring av avfall fra Søve i Himdalen er uaktuelt i følge T. Strand, Statens Strålevern (pers. medd.).

Norcems kalksteinsgruver i Brevik

Disse gruvene er i drift og vil sannsynligvis være det i mange ti-år framover. I disse gruvene har en ingen problemer med radongass, men ved lagring av avfall fra Søve kan en risikere å få det. Radongassen er mye tyngre enn luft og siger derfor nedover og vil da kunne lage høye radongasskonsentrasjoner i bunnen av gruva. Det er i bunnen av gruva driften foregår. Dette alternativet synes derfor å være dårlig.

4.2.2.5 Anbefalt løsning:

Umiddelbar sikt:

1. Ingen arealomdisponering, ingen ukontrollert graving eller bruk av området.

2. Ikke fjerning av materiale for bruk til fyllmasser andre steder

På kort sikt bør følgende to muligheter vurderes grundig:

1. Slagget gis bort til et eksisterende fabrikkanlegg i utlandet for utnyttelse av verdifulle metaller. Dette forutsetter at et slikt anlegg finnes og er villig til å motta slagget.

2. Langtidslagring. Det bør velges en løsning som innebærer minimal transport. Det beste alternativet synes å være å sprenge en tunnell i fjell i umiddelbar nærhet og lagre slagg og "vaskerijord" der. Et interessant alternativ er å lage en tilgang til den gamle Søve-synken for lagring der.



Figur 4.2a

Beliggenheten av slagghaug, "vaskerijord" og avgangsdeponi. Den nå tildekkede åpningen på synken er vist med svart kvadrat med "s". Mulig område for framtidig underjordisk fjelldeponi er vist med grønn farge. Avgangen i Norsjø er vist med gul farge.



Figur 4.2b

Gruvekart fra Søve gruver som viser utbredelsen av gruveganger i de ulike nivåene. Posisjon for synk vist med svart kvadrat. Kilde: Bergarkivet.



5. OPPFØLGENDE UNDERSØKELSER

Følgende undersøkelser foreslås utført som en oppfølging:

5.1 Ferroniob-slagghaugen

Nøyaktig oppmåling og volumberegning av haugen.

En bør snarest foreta en nøyaktig oppmåling og kartfesting av slagghaugen og området med radioaktiv "vaskerijord". Det vil også være essensielt for alle typer framtidige vurderinger å fastslå slagghaugens og "vaskerijordas" nøyaktige volum. For nøyaktig volumanslag av slagghaugen bør det brukes georadar, kombinert med kjerneboring eller graving av profiler.

Finnes det andre slaggtyper i haugen?

De fem undersøkte prøvene ble tatt fra toppen av slagghaugen. Dette er mao slagg som sannsynligvis ble produsert like før verkets nedleggelse. Det er ikke kjent om produksjonsprosessen for ferroniob endret seg over tid (1957 til 1965). Det bør derfor tas prøver i et eller to snitt gjennom haugen for å se om det forekommer slagg av helt andre typer. Det må da graves eller bores gjennom haugen og prøvene må analyseres tilsvarende arbeidet utført i denne rapporten.

Avrenning

Avrenning av regnvann som drenerer haugen bør samles inn og analyseres for metallkonsentrasjoner. De foreliggende slaggundersøkelsene tyder på at det ikke er nevneverdig lekkasje og avrenning fra slagghaugene. Oppfølgende vannanalyser vil fastslå om dette er korrekt.

Oppløsningseksperimenter

Det bør utføres oppløsningseksperimenter med slaggene. Dette kan for eksempel gjøres ved at slaggklumper legges i vann og at vannet analyseres med jevne mellomrom et års tid eller to. Det samme kan foretas i en oppløsning av en svak syre. Dette er analyser som kan gi viktig informasjon om hva som kan skje dersom slagget er eksponert for luft og vann på lang sikt.

Stabilitetsvurdering av haugen

Dersom en velger et alternativ for innkapsling av haugen må det foretas undersøkelser av haugens stabilitet. Innkapsling forutsetter at haugen stabiliseres og at det lages et tilfredsstillende system for drenering.

Kan slagg ha blitt brukt som fyllmasser andre steder?

Dette er lite sannsynlig, men kan ikke utelukkes. Den eneste effektive metoden for å finne ut av dette er å foreta målinger av gammastråling fra helikopter i lav høyde over hele Ulefoss-området.

Det må velges en løsning for framtidig håndtering av slagget.

Dersom det velges et alternativ i fjell (ny tunell / synk, eller benyttelse av Søve-synken) må dette utredes grundig.

5.2 Slamdeponi og avgang til Norsjø

I hele diskusjonen om mulig miljøfarlig avfall fra Søve er det som tidligere poengtert svært viktig å skille vaskerikalkslamavgangen fra slagg (se tidligere diskusjonsavsnitt) som ikke ansees for å innebære noen miljøfare. Når det likevel anbefales å følge opp med noen undersøkelser i det gamle slamdeponiet og i bunnsedimentene i Norsjø utenfor Søve er det for å fastslå helt sikkert at vurderingene som er gjort i denne rapporten er korrekte. Disse undersøkelsene er relativt enkle og bør omfatte (se også figur 4.2a):

- Slamdeponi / området mellom Mek Verksted og Norsjø kjernebores og analyseres for mineralinnhold og kjemisk sammensetning.
- Bunnsedimenter utenfor Søve prøvetas i egnet grid. Det foretas mineralogiske og kjemiske analyser.

6. SUMMARY IN ENGLISH

Slag and tailings after the niobium mining at Søve (1951-1965), Nome, Telemark, have been investigated in some detail. From an environmental point of view the slag and tailings possess two different situations:

Slag from the ferroniobium production plant at Søve amounts to between 570 and 960 tons. The slag was subsequently mixed with other material and the present volume of the waste deposit is probably between 1500 and 2000m³. From the slag deposit there is a significant gamma radiation due to the high content of uranium and thorium. This slag is mainly composed of aluminium oxides (TiBaMg-daoyudaoite, hibonite and MgAl-spinel). A very small amount of CaBaNaAl-silicates occur in the matrices, but no glass has been observed. Globules of Fe-Nb alloy, with minor amounts of Ta, occur in some slag varieties. The uranium and thorium, along with tantalum, niobium, zirconium and lanthanide elements, is hosted by very small (about 0,2 mm) skeletal or dendritic crystals distributed relatively evenly in the matrices. These crystals probably have pyrochlore and perovskite-like structures. Due to the capture of uranium and thorium within crystal structures dissolution and metal enriched runoff is less likely an environmental problem. This slag deposit should be either covered or removed to a permanent storage site in the future. Alternatively the tantalum and other metals in the slag may be extracted commercially.

The tailings are of two different types: Calcite-apatite tailing and niobium mineral tailing. The calcite-apatite tailing has no negative influence on the environment. The niobium mineral tailings represent pyrochlore concentrate accidentally lost during milling. Today this pyrochlore concentrate is mixed into the local soil and is also radioactive. Although the niobium minerals are almost insoluble in the natural environment also this radioactive soil should be covered or removed to a permanent underground storage site.

TAKK

Flere personer har bidratt med analyser og opplysninger som har vært viktig for denne rapporten. Spesielt skal nevnes Alf O. Larsen, Norsk Hydro, som har kjørt XRF og XRD på prøvene, samt tolket XRD-spektrene. Tidligere driftsbestyrer ved Søve Gruver, Tormod Johnsen, har bidratt med diverse informasjon i en samtale om Søve Gruver, samt tillatt scan av private foto i februar 2005. Stig Åke Eriksen, Bergvesenet, har velvilligst funnet fram diverse arkivmateriale. Muriel Erambert, Universitetet i Oslo, har utført elektronmikrosonde-analysene på oppdrag. Terje Strand, Statens Strålevern, har i et notat redegjort for omregning av gammastråling fra røntgen til grey. Han har også gitt synspunkter om helserisiko vedrørende radongass og gammastråling fra slagghaugene på Søve

Avisa "Kanalen", Ulefoss, samt Ulefoss bibliotek har bidratt med arkivfotografier fra Norsk Bergverk på Søve. TFK eiendom bevilget kr 10.000 kr til elektronmikrosondeanalyser.

REFERANSER

Bjørlykke, H., 1955: The Niobium Deposits at Søve, Southern Norway. The Mining Journal, 412-413.

Bjørlykke, H. og Svinndal, S., 1960: The carbonatite and per-alkaline rocks of the Fen area: Mining and exploration work. In: Holtedahl, O.: Geology of Norway, 105-110. Bransjerådet for bergverkene, 1962: Niobium – Produkter og markedsforhold. Bergvesenets arkiv.

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

Dahlgren, S.,1983: Naturlig radioaktivitet i berggrunnen. Gammastrålingskart. Fensfeltet, Telemark, m 1:10 000. Prosjekt temakart, Telemark.

Fylkeskartkontoret i Telemark. Dahlgren, S. 1989: Forslag til vern av viktige lokaliteter i forbindelse med

den vulkanske aktiviteten på Fensfeltet. Fagrapport, 94pp. Hedlund, G., 1982: Niob – Romfartsmetallet fra Ulefoss. Genius forlag, Skien, 35 pp. Johnsen, T. 1964: Søve gruver. Rapport, Bergvesenets arkiv.

Norges Bergverksdrift. Årgangene 1951-1963.

Stranden, E., 1982: En undersøkelse av naturlig stråling i Fensfeltet ved Ulefoss. SIS rapport, 1982:9. 42 pp.

Sæther, E., 1958: The alkaline rock province of the Fen area in Southern Norway. D.K.N.V.S. skr. 1, 1-150.

Østrem, G., Flakstad, N. og Santha, J.M., 1984: Dybdekart over norske innsjøer. Meddelelse nr 48 fra hydrologisk avdeling, Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen. 128pp.

APPENDIKS

A1 Produksjon av malm, niobkonsentrat og ferroniob. Norsk Bergverk, Søve gruver, 1953-1965.

A2 XRD diffraktogrammer

- 1a Niobkonsentrat
- 2a. Søve slagg 1
- 2b. Søve slagg 2
- 2c. Søve slagg 3 2d. Søve slagg 4
- 2e. Søve slagg 6
- 3. Søve "vaskerijord"

A3 Elektronmikrosondeanalyser (EMP)

- 1a. Ti-Ba-Mg-diaoyudaoitt, Søve slagg 1
- 1b. Ti-Ba-Mg-diaoyudaoitt, Søve slagg 2 og 4
- 1c. Ti-Ba-Mg-diaoyudaoitt, Søve slagg 3
- 2. Hibonitt og Mg-Al-spinell
- 3. Ca-Na-Ba-Al-silikater
- 4. Ferroniob
- 5a. Ca-Na-Ti-Nb-Ta-oksider (pyroklorstruktur)
- 5b. Ti-Zr-Ta-Nb-oksider med U og Th

Appendiks A1 Produksjon av malm, niobkonsentrat og ferroniob Norsk Bergverk, Søve Gruver, 1953-1965 Datagrunnlag: Norges Bergverksdrift, årsstatistikk

	Søvitt	Nb205	Nb-forkons	Nb205	Viderefor- edling	Nb205+Ta205 %	Renset-Nb		Fe-Nb		Magnetitt	Apatitt	Svovelkis
	tonn	% i malm	tonn	% i forkons	Herøya kons	Kons Herøya	kons				tonn	tonn	tom
					tonn		tonn	% Nb2O5	tonn	4N %			
1951	Forbere- delser												
1952	Fjerning av gråberg												
1953	14233	0,57	564	5,0									
1954	45963	0,46	1244	7,8	178,1	50							
1955	85057	0,41	1976	8,1	306,6	49							
1956	98620	0,31	1807	7,8	259,6	51			3,3				
1957	84980	0,32	1505	8,0	170,7	50	22,3	52	10,0	60			
1958	89482	0,38	1798	8,6	104,4	50	95,6	50	45,8	09	3070		
1959	94358	0,37	1619	11,2	56	51,8	233,9	49,5	33,1	60	2850		
1960	112537	0,36	2351	9,0	28,5	54	239,1	55	45,6	60	1975	2250	800
1961	102500	0,36	2019	10	341,8	55,36	178,5	55,6	80,4	61,08	1000	1750	600
1962	121300	0,34	2275	9,8	364,6	56,77	296,8	57,9	28,9	64,6	844	2065	560
1963	134349		2022	11,69	395,37	56,09	383,4		24,2		1191		600
1964	111997						325				1000		620
1965	58403						150				335		250
Total	1153779		19180		2205,6		1924,6		271,34		12265	6065	3430





Analyttisk: Faseidentifikasjom ble foretatt med Philips X'pert diffraktometer

Områdenr	IA	1A	1A	1A	1A	1A	1A	ΙV	IA	B	IB	a	1E	1near E*	1F	1F
	core	near	near	rim	core	core	core	slender	Another	colorless	small	host		host	host	host
		rim	rim					needle	slender	mineral	needle	mineral		mineral	mineral	mineral
									needle							
SiO2																
Ti02	0,57	0,74	0,65	0,85	0,62	0,53	0,61	0,63	0,86	0,54	0,56	0,52	0,81	0,52	0,51	0,56
Al2O3	79,77	81,49	80,55	80,06	80,39	81,07	82,41	77,25	78,04	81,07	77,49	78,65	79,04	79,64	80,94	80,14
FeO	0,02	00'0	00'0	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00
MgO	10,45	4,33	4,33	4,45	4,21	4,37	4,15	4,37	4,47	4,16	10,59	10,42	4,42	10,54	4,19	4,20
CaO	0,15	0,26	0,22	0,10	0,30	0,22	0,34	0,06	0,04	0,17	0,07	0,04	0,05	0,02	0,23	0,24
Na2O	1,30	2,16	2,42	2,33	2,74	2,53	1,79	2,42	2,23	2,91	1,57	2,35	2,69	0,98	2,49	2,61
BaO	5,97	10,16	10,66	10,99	9,80	10,62	9,13	13,98	12,97	10,38	8,32	6,52	11,75	6,43	10,17	10,25
Zr02	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00
Nb205	0,08	0,05	0,00	0,06	0,02	0,00	0,00	0,07	0,00	0,02	0,11	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03
Ta205	0,06	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,05	0,09	0,07
U2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Th02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,02	0,00
La2O3	00'0	0,00	00'0	0,00	00'0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce203	0,00	0,00	00'0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pr203	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	98,37	99,40	98,83	98,92	98,10	99,34	98,68	98,78	98,66	99,27	98,81	98,52	98,81	98,29	98,71	98,10
Kationbasis	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
\Sigma Oksygen	16,82	17,01	16,93	16,95	16,89	16,91	17,11	16,84	16,91	16,86	16,70	16,61	16,86	16,87	16,94	16,91
Kalkulert formel																
Si	0,00	0,00	00'0	0,00	00'0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,04	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,05
AI	9,80	10,33	10,26	10,24	10,25	10,26	10,48	10,09	10,15	10,23	9,61	9,61	10,14	9,84	10,30	10,26
Mg	1,62	0,69	0,70	0,72	0,68	0,70	0,67	0,72	0,74	0,66	1,66	1,61	0,72	1,65	0,67	0,68
Са	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,04	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03
Na	0,26	0,45	0,51	0,49	0,57	0,53	0,37	0,52	0,48	0,60	0,32	0,47	0,57	0,20	0,52	0,55
Ba	0,24	0,43	0,45	0,47	0,42	0,45	0,39	0,61	0,56	0,44	0,34	0,26	0,50	0,26	0,43	0,44
Zr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
qN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ta	00'0	0,01	00'0	0,00	00'0	0,00	0,01	00'0	0,00	00'0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Тћ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00

Appendiks 3.1a EMP-analyser Ti-Ba-Mg-diaoyudaoitt, Søve slagg 1

Appendiks 3.1b EMP-analyser Søve slagg 2 og 4 Ti-Ba-Mg-diaoyudaoitt

	Slagg 2				Slagg 4						
Områdenr	2A	2A	2B	2B	4A	4A	4A	4C	4B	4B	4D
	white	over-		matrix	large xl	large xl	large xl		largest	matrix	largest
	core	growth		small	core	beginning	overgrow.		needles	tiny	XI
		on min 1		needle		over- growth			core	needles	
SiO2											
TiO2	1,19	1,37	0,96	1,24	0,67	0,49	0,63	0,78	0,92	0,77	0,61
Al2O3	87,25	82,86	84,80	82,63	78,36	83,36	86,20	84,19	85,70	84,41	84,87
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02	0,01
MgO	0,84	0,15	0,98	0,16	11,07	3,32	1,41	1,32	1,49	0,33	1,32
CaO	0,10	0,02	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,10	0,01
Na2O	3,21	2,58	2,60	2,68	1,45	1,90	2,59	3,25	2,45	2,90	3,20
BaO	6,13	11,02	9,66	11,47	7,76	9,69	8,29	9,11	7,93	10,33	8,47
ZrO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,10	0,01
Nb2O5	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Ta2O5	0,00	0,16	0,03	0,04	0,04	0,21	0,02	0,13	0,04	0,00	0,00
U2O3	0,05	0,05	0,09	0,00	0,05	0,01	0,02	0,00	0,06	0,05	0,00
ThO2	0,02	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
La2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	98,87	98,25	99,17	98,26	99,46	99,17	99,18	98,83	98,70	99,04	98,50
Kationbasis	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Σ Oksygen	17,20	17,26	17,21	17,21	16,72	17,16	17,20	17,06	17,24	17,17	17,08
Kalkulert formel											
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,09	0,11	0,08	0,10	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05
Al	10,85	10,82	10,81	10,79	9,62	10,60	10,84	10,66	10,84	10,81	10,72
Mg	0,13	0,02	0,16	0,03	1,72	0,53	0,22	0,21	0,24	0,05	0,21
Ca	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Na	0,66	0,55	0,55	0,58	0,29	0,40	0,54	0,68	0,51	0,61	0,66
Ba	0,25	0,48	0,41	0,50	0,32	0,41	0,35	0,38	0,33	0,44	0,36
Zr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Nb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Та	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00

Appendiks 3.1c EMP-analyser Søve slagg 3 Ti-Ba-Mg-diaoyudaoitt

Områdenr	3A	3A	3A	near 3C	3D*	3D						
	needle	very thin	matrix	white	matrix							
	core	needle	tiny	mineral	small							
			needle		needle							
SiO2												
TiO2	0,81	1,50	1,00	0,77	1,06	0,67	0,49	0,63	0,78	0,92	0,77	0,61
Al2O3	85,88	83,85	82,82	84,38	83,46	78,36	83,36	86,20	84,19	85,70	84,41	84,87
FeO	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02	0,01
MgO	1,33	1,08	0,72	1,61	0,25	11,07	3,32	1,41	1,32	1,49	0,33	1,32
CaO	0,02	0,07	0,31	0,00	0,06	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,10	0,01
Na2O	2,42	2,34	2,83	3,26	2,98	1,45	1,90	2,59	3,25	2,45	2,90	3,20
BaO	8,69	9,79	10,26	8,87	10,61	7,76	9,69	8,29	9,11	7,93	10,33	8,47
ZrO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,10	0,01
Nb2O5	0,02	0,00	0,07	0,07	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Ta2O5	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,04	0,21	0,02	0,13	0,04	0,00	0,00
U2O3	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,05	0,01	0,02	0,00	0,06	0,05	0,00
ThO2	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
La2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,21	98,72	98,06	99,00	98,43	99,46	99,17	99,18	98,83	98,70	99,04	98,50
Kationbasis	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Σ Oksygen	17,24	17,27	17,15	17,05	17,16	16,72	17,16	17,20	17,06	17,24	17,17	17,08
Kalkulert formel												
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,07	0,12	0,08	0,06	0,09	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05
Al	10,85	10,78	10,72	10,63	10,78	9,62	10,60	10,84	10,66	10,84	10,81	10,72
Mg	0,21	0,18	0,12	0,26	0,04	1,72	0,53	0,22	0,21	0,24	0,05	0,21
Ca	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Na	0,50	0,49	0,60	0,68	0,63	0,29	0,40	0,54	0,68	0,51	0,61	0,66
Ba	0,37	0,42	0,44	0,37	0,46	0,32	0,41	0,35	0,38	0,33	0,44	0,36
Zr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Nb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Та	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00

Søve slagg 3

Appendiks 3.2 EMP-analyser Søve slagg Hibonitt og Mg-Al-Spinell

Hibonitt

Mg-Al-Spinell

Slagg pr	24	24	24	2B	2B	2B	2B	34	30	14	14
	blue	24	24	rim	rim	towards	core	core	Host		core
	pleochroic					core	core	core	mineral		
	proteinin					core			minerai		
TiO2	3,36	3,43	3,82	3,57	3,46	2,94	3,24	2,26	2,94	0,61	0,73
Al2O3	81,32	81,50	82,19	80,97	81,69	83,09	82,59	82,96	82,53	73,52	73,76
FeO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,02		
MgO	1,51	1,44	1,12	1,49	1,44	1,16	1,26	1,37	1,40	24,99	25,03
CaO	5,98	5,95	6,30	5,89	5,72	5,94	6,14	6,14	6,50	0,05	0,00
Na2O	0,29	0,23	0,30	0,25	0,28	0,31	0,42	0,23	0,16	0,02	0,12
BaO											
ZrO2	0,38	0,30	0,39	0,34	0,33	0,24	0,19	0,24	0,33		
Nb2O5	0,72	0,67	0,60	0,59	0,61	0,55	0,48	0,43	0,43		
Ta2O5	0,11	0,07	0,24	0,41	0,22	0,14	0,12	0,11	0,11		L
U2O3	0,07	0,06	0,03	0,00	0,09	0,03	0,07	0,10	0,04		L
ThO2	0,91	0,91	0,80	0,97	1,06	0,82	0,85	1,13	1,03		L
La2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,55	0,58	0,61	0,36		L
Ce2O3	2,31	2,22	1,51	2,23	2,22	2,10	2,09	2,26	1,76		
Nd2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,58	0,42	0,45	0,37		L
Pr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,12	0,10	0,12	0,11		
Total	96,97	96,78	97,30	96,71	98,41	98,61	98,55	98,41	98,09	99,19	99,64
Kationbasis	13	13	13	13	13	13	13	13	13	3	3
Σ Oksygen	19,14	19,15	19,17	19,16	19,17	19,14	19,10	19,09	19,11	4,06	4,05
Kalkulert formel											
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,30	0,31	0,34	0,32	0,31	0,26	0,29	0,20	0,26	0,01	0,01
Al	11,41	11,44	11,45	11,41	11,41	11,50	11,42	11,51	11,45	2,09	2,09
Mg	0,27	0,26	0,20	0,27	0,25	0,20	0,22	0,24	0,25	0,90	0,90
Ca	0,76	0,76	0,80	0,75	0,73	0,75	0,77	0,77	0,82	0,00	0,00
Na	0,07	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07	0,10	0,05	0,04	0,00	0,01
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zr	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
Nb	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00
Та	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00
Ce	0,10	0,10	0,07	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,08	0,00	0,00
Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Sum	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	3,00	3,00

Appendiks 3.3 EMP-analyser Søve slagg Ca-Ba-Na-Al-silikater

Slagg nr	1A	1A	1B	1D	1D	2B	3D	4B	4D
Områdenr	matrix	matrix	matrix	inclusion	inclusion	matrix	matrix	matrix	matrix
Fase	interstitial	interstitial	interstitial	in Min. 1	in Min. 1	interstitial	interstitial	interstitial	interstitial
Antatt struktur						Carnegieitt			
SiO2	32,35	31,83	29,96	25,15	28,42	39,57	18,68	19,66	20,99
TiO2	0,2	0,27	0,4	4,47	0,34	0,84	0,44	0,33	0,21
Al2O3	40,84	41,44	42,85	34,01	35,19	36,09	45,04	46,61	45,49
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	8,19	9,65	10,73	21,15	19,07	0,79	12,7	12,63	13,13
Na2O	15,5	13,97	13,86	9,77	11,42	19,52	9,84	10,02	10,71
BaO	2,83	2,17	1,99	1,09	1,86	4,08	11,59	9,63	7,9
ZrO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ta2O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ThO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ce2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nd2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99,91	99,33	99,79	95,64	96,3	100,89	98,29	98,88	98,43
Kationbasis	15	15	15	15	15	3	6	6	6
Σ Oksygen	20,17	20,40	20,26	20,30	20,07	4,04	7,98	8,03	8,00
Kalkulert formel									
Si	4,02	4,01	3,75	3,41	3,76	0,96	1,03	1,06	1,12
Ti	0,02	0,03	0,04	0,46	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Al	5,99	6,15	6,32	5,44	5,48	1,04	2,91	2,95	2,85
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	1,09	1,30	1,44	3,07	2,70	0,02	0,75	0,73	0,75
Na	3,74	3,41	3,36	2,57	2,93	0,92	1,05	1,04	1,11
Ba	0,14	0,11	0,10	0,06	0,10	0,04	0,25	0,20	0,16
Zr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Та	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nd	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	15	15	15	15	15	3	6	6	6

Appendiks 3.4 EMP-analyser Søve slagg 3 og 4 Ferroniob-globuler

Søve Slagg 3 - Område B - Fe-Nb globul										
	3#1b	3'#5a	3#2a	3#3b	3#1a	3#2b	3#4a	3#3a	3#4b	
Ti	0,67	n.a.	n.a.	0,01	n.a.	0,00	n.a.	n.a	0,02	
Nb	85,25	86,00	65,77	65,11	72,16	71,49	93,86	98,03	98,50	
Та	0,17	0,24	0,26	0,11	0,31	0,27	0,23	0,25	0,17	
Fe	0,63	0,58	31,93	30,50	24,13	22,75	0,32	2,75	2,20	
Total	86,72	86,82	97,96	95,73	96,60	94,51	94,41	101,03	100,88	
Brightness	next	next	medium	medium	light	light	lightest	brightest	brightest	
on BSE image	darkest	darkest	grey	grey	grey	grey	grey	spots*	spots*	
	(dark grey)									
Søve Slagg 4 - Område B - Fe-Nb globul										
Point	4#2	4#7	4#1	4#5	4#4	4#3	4#10	4#9	4#6	4#8
Ti	0,00	0,02	0,06	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03	0,08	0,03
Nb	50,75	51,76	64,20	65,09	63,44	70,99	71,18	93,19	98,19	97,62
Та	1,15	0,99	1,02	1,27	0,93	0,95	1,04	2,32	0,57	0,77
Fe	41,67	41,41	27,99	27,82	30,68	23,09	22,75	0,38	1,92	2,82
Total	93,57	94,17	93,28	94,22	95,05	95,03	94,99	95,91	100,76	101,25
Brightness	darkest	darkest	next	next	third	medium	medium	light	brightest	brightest
on BSE image			darkest	darkest	darkest	grey	grey	grey**	spots*	spots*

Appendiks 3.5a Søve slagg EMP-analyser Gruppe 1 Ca-Na-Ti-Ta-Nb-oksider (pyroklorstruktur)

Gruppe	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A				1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B
Slagg nr	2	2	2	3	3		4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	Incl.	purple RL	skeletal	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	Incl.
	blue RL	blue RL	blue RL	opaque	light blue	light blue	blue RL	blue RL	dendrite		oxide	blue RL	blue RL	blue RL	blue RL	blue RL	blue RL	dark blue
TiO2	27,28	25,64	25,51	28,58	29,89	28,79	22,38	23,37	5,94	6,11	6,08	13,85	13,75	13,48	13,41	14,00	13,18	11,63
Al2O3	0,76	0,79	1,02	2,43	2,03	2,33	3,08	3,30	2,16	0,90	0,97	1,35	1,25	1,22	1,26	1,07	1,11	1,43
FeO	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	n.a.	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,26	0,20	0,15	0,19	0,13	0,14	0,15	0,16	0,12
CaO	21,39	21,24	22,42	26,17	27,24	25,70	19,61	20,86	17,35	13,77	13,86	20,39	20,32	20,16	19,84	20,48	19,82	16,70
Na2O	4,35	4,10	3,86	2,01	2,24	2,17	3,04	2,91	0,91	0,30	0,23	4,54	4,71	4,68	4,69	5,04	4,97	6,03
BaO																		
ZrO2	3,09	2,80	2,51	2,61	4,54	2,66	2,74	3,10	4,84	4,99	4,80	2,24	2,62	2,57	2,21	3,20	2,19	2,43
Nb2O5	27,48	29,74	30,43	20,76	20,59	20,24	19,02	19,13	35,29	32,13	31,45	43,41	46,06	45,65	43,35	46,18	46,45	44,15
Ta2O5	4,30	4,75	4,75	5,67	3,87	5,43	12,06	10,14	5,91	10,80	11,00	8,82	7,68	7,83	9,04	5,76	8,62	10,02
U2O3	1,78	1,50	1,29	1,40	2,27	1,67	1,75	2,28	7,43	9,14	10,75	0,13	0,21	0,12	0,21	0,00	0,01	0,63
ThO2	9,00	8,19	7,00	8,12	7,85	8,99	8,82	8,77	13,68	15,53	15,05	1,07	1,11	1,15	1,31	0,89	0,70	2,56
La2O3	0,00	0,00	0,15	0,15	0,03	0,12	1,26	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,73	0,00	0,00
Ce2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,84	1,83	1,37	1,96	1,92	0,99	0,85	0,83	1,51	0,57	1,28	1,53
Nd2O3	0,00	0,00	0,54	0,89	0,45	0,70	1,63	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,49	0,00	0,00
Pr2O3	0,00	0,00	0,13	0,28	0,00	0,20	0,57	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,18	0,00	0,00
Total	99,43	98,76	99,65	99,07	101,00	99,00	98,80	98,28	95,01	95,90	96,32	96,94	98,75	97,82	98,75	98,78	98,50	97,23
Kationbasis	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Σ Oksygen	6,33	6,39	6,37	6,30	6,25	6,29	6,34	6,31	6,86	7,23	7,21	6,48	6,51	6,51	6,48	6,45	6,51	6,44
Kalkulert formel																		
Ca	1,30	1,31	1,37	1,58	1,59	1,55	1,29	1,34	1,41	1,24	1,25	1,31	1,28	1,29	1,27	1,28	1,26	1,10
Na	0,48	0,46	0,43	0,22	0,24	0,24	0,36	0,34	0,13	0,05	0,04	0,53	0,54	0,54	0,54	0,57	0,57	0,72
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03
Nd	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
U	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,13	0,18	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Th	0,12	0,11	0,09	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,24	0,30	0,29	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04
Zr	0,09	0,08	0,07	0,07	0,12	0,07	0,08	0,09	0,18	0,20	0,20	0,07	0,08	0,07	0,06	0,09	0,06	0,07
Pr	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sum	2,01	1,98	1,99	2,02	2,08	2,02	2,02	2,02	2,12	2,03	2,04	1,94	1,93	1,94	1,97	1,99	1,93	1,96
Al	0,05	0,05	0,07	0,16	0,13	0,16	0,22	0,23	0,19	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,10
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ti	1,17	1,11	1,09	1,21	1,22	1,22	1,03	1,06	0,34	0,39	0,39	0,63	0,61	0,60	0,60	0,61	0,59	0,54
Nb	0,71	0,78	0,78	0,53	0,51	0,52	0,53	0,52	1,21	1,22	1,20	1,18	1,23	1,23	1,17	1,22	1,25	1,22
Та	0,07	0,07	0,07	0,09	0,06	0,08	0,20	0,17	0,12	0,25	0,25	0,14	0,12	0,13	0,15	0,09	0,14	0,17
Sum	1,94	1,97	1,95	1,82	1,79	1,82	1,76	1,74	1,67	1,85	1,84	1,95	1,96	1,96	1,92	1,92	1,97	1,92

Appendiks 3.5b Søve slagg EMP-analyser Gruppe 2 Ti-Zr-Ta-Nb-oksider med U og Th

Gruppe			2C	2C	2A	2A	2A	2B	2B	2B	2B	2B	2B
Slagg nr	3	3	2	2	4	4	4	1	1	1	1	1	1
	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix	Incl.
	white RL	white RL	white RL	whitish	white	white	white LR	white RL	dendrite				
				RL	RL	LR							
	dendri- tic**	dendri- tic**	dendritic	dendritic	dendritic								
TiO2	37,94	5,69	28,40	27,96	6,24	6,09	6,31	6,07	5,98	6,03	5,97	6,07	5,94
Al2O3	7,92	8,37	3,03	3,06	0,41	0,37	0,42	0,96	0,96	1,08	1,07	4,55	2,16
FeO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,20	0,24	0,25	0,25	0,89	0,13
CaO	31,59	8,98	11,19	10,20	12,24	12,49	12,57	13,40	13,37	13,31	13,24	13,26	17,35
Na2O	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,29	0,42	0,20	0,32	0,91
BaO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
ZrO2	6,28	62,43	32,11	36,08	21,23	20,46	19,64	4,62	4,78	5,05	5,09	5,32	4,84
Nb2O5	7,67	1,01	16,56	14,64	17,08	17,61	18,03	32,30	32,08	32,40	31,56	29,98	35,29
Ta2O5	0,44	0,21	1,55	1,27	4,39	5,58	6,35	11,35	11,31	10,71	10,58	10,69	5,91
U2O3	0,85	2,39	3,93	3,24	18,15	15,71	15,56	10,17	11,05	11,22	11,01	9,34	7,43
ThO2	0,45	0,36	3,51	2,77	17,11	17,64	17,38	16,45	16,23	16,28	16,21	15,09	13,68
La2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,23	0,35	0,00	0,00	0,55	0,51	0,00	0,00
Ce2O3	0,00	0,15	0,00	0,00	0,52	0,70	0,68	1,94	1,75	1,79	1,79	1,85	1,37
Nd2O3	0,23	0,00	0,00	0,02	0,30	0,42	0,71	0,00	0,00	1,02	0,91	0,00	0,00
Pr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,15	0,15	0,00	0,00	0,31	0,47	0,00	0,00
Total	94,43	89,61	100,28	99,24	98,06	97,46	98,15	97,72	98,04	100,42	98,86	97,37	95,01
Kationbasis	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Σ Oksygen	6,02	6,95	7,34	7,37	7,03	7,05	7,06	7,27	7,25	7,21	7,24	7,04	6,86
Kalkulert formel													
Ca	1,68	0,69	0,77	0,71	1,14	1,16	1,16	1,21	1,20	1,17	1,19	1,11	1,41
Na	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,07	0,03	0,05	0,13
La	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04
Nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00
U	0,01	0,04	0,06	0,05	0,36	0,31	0,31	0,20	0,21	0,21	0,21	0,17	0,13
Th	0,01	0,01	0,05	0,04	0,34	0,35	0,34	0,31	0,31	0,30	0,31	0,27	0,24
Zr	0,15	2,20	1,01	1,14	0,90	0,87	0,83	0,19	0,20	0,20	0,21	0,20	0,18
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
sum	1,95	2,94	1,89	1,94	2,78	2,74	2,70	2,01	2,02	2,06	2,06	1,84	2,12
Al	0,46	0,71	0,23	0,23	0,04	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,11	0,42	0,19
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,10	0,01
Ti	1,41	0,31	1,37	1,37	0,41	0,40	0,41	0,38	0,38	0,37	0,38	0,36	0,34
Nb	0,17	0,03	0,48	0,43	0,67	0,69	0,70	1,23	1,22	1,20	1,19	1,05	1,21
Та	0,01	0,00	0,03	0,02	0,10	0,13	0,15	0,26	0,26	0,24	0,24	0,23	0,12
Sum	1,59	0,35	1,88	1,82	1,18	1,22	1,26	1,87	1,85	1,81	1,81	1,64	1,67

Regiongeologen for Buskerud, Telemark og Vestfold

Buskerud, Telemark og Vestfold fylkeskommuner har siden 1998 samarbeidet om geologiske utfordringer for samfunnet i vår region. Tre hovedprogrammer for samarbeidet ble politisk vedtatt i år 2000. Disse tre programmene ble styrket i vedtak i "Regionrådet for BTV" om en "Strategi og handlingsplan for geologisamarbeidet for perioden 2004-2007". Disse programmene er:

Program 1

Geologiske ressurser i Buskerud, Telemark og Vestfold mot 2300.

Samfunnet vårt er helt avhengig av tilgang på geologiske ressurser for byggeformål (sand, grus, pukk, sement, teglstein, skifer etc) og som basis i ulike industrielle prosesser (for eksempel metallurgisk industri). Buskerud, Telemark og Vestfold har gjennom århundrer basert mye av sin virksomhet, økonomisk og sysselsettingsmessig sett, på uttak eller foredling av geologiske ressurser. Kartlegging av og strategier for forvaltning og utnyttelse av geologiske ressurser er viktig for en langsiktig regional utvikling av regionen.

BTV-samarbeidet skal bidra til økt aktivitet for undersøkelser av geologiske ressurser i regionen, bidra til næringsutvikling basert på geologiske ressurser og være en kompetanse kommunene kan benytte i sin arealforvaltning.

Program 2 Geologiske attraksjoner i Buskerud, Telemark og Vestfold

Geologien er naturlandskapets grunnvoller. Geologiske prosesser har gjennom 1,6 milliarder år formet vår region og gjør dette området helt unikt på jordkloden. Geologien er derved fundamentalt viktig for vår identitet. Bokstavelig talt fundamentet i *barndommens dal*. Mange attraksjoner befolkningen og turister bruker som rekreasjonsområder i dag er geologisk naturarv med en spennende geologisk historie. Dette samarbeidsprogrammet har som målsetning å utvikle geologiske attraksjoner til fyrtårn i regionen til glede for turister og befolkning.

Program 3 Geologi i regional og kommunal planlegging

Flere geologiske faktorer er viktig i kommunal arealplanlegging:

- 1. Områder for utvinning av geologiske ressurser.
- 2. Områder med viktig geologisk naturarv.
- 3. Områder med skredrisiko i eller mot boligområder.
- 4. Radongassrisiko i boligområder.
- 5. Forursenset grunn.

Dette samarbeidsprogrammet har som målsetning å implementere disse faktorene som en naturlig del av alle kommuneplaner.







Geologien -

Grunnlaget for framtida