

Oppdrag
Forskningsgruppe for Sjeldne Jordarter

NGU Rapport nr. 776

Undersøkelser etter
sjeldne jordartselementer (RE) i
FENSFELTET, ULEFOSS
NOME, TELEMARK

Juni - juli 1967

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Oppdrag

Forskningsgruppe for Sjeldne Jordarter (FSJ)

NGU Rapport nr. 776

Undersøkelser etter sjeldne jordartselementer (RE) i

FENSFELTET, ULEFOSS

NOME, TELEMARK

Juni - juli 1967

Ansvarlig leder : Sverre Svinndal

Norges geologiske undersøkelse

Geofysisk avdeling

Trondheim

<u>INNHOLD:</u>	<u>Side:</u>
I	OPPDRAK 3
II	FENSFELTETS GEOLOGI OG GRUVEVIRKSOMHETEN I FELTET 3
III	TIDLIGERE UNDERSØKELSER 3
IV	UNDERSØKELSENE SOMMEREN 1967
	1. Befaringer 5
	2. Innsamling av prøvene 5
	3. Preparering av prøver for analyse 6
V	ANALYSERESULTATER 7
	1. Feltprøver fra Gruveåsen, Rauhaug, Melteig, Vipeto 7
	2. Prøver av diamantborhull fra Tuftefeltet 11
	3. Prøver av diamantborhull i Tuftestollen 14
	4. Prøvene fra Bolladalen 15
VI	MINERALOGISKE UNDERSØKELSER 18
VII	KONKLUSJON 20
VIII	RE I ANDRE KARBONATITTFOREKOMSTER AV SAMME TYPE SOM FENSFELTET 22

Bilag:

Særtrykk fra NGU nr. 208

Pl. 776-01	Geologisk kart over Fensfeltet inntegnet prøve- og mutingspunkter	1:5000
Pl. 776-02	Kart over Fensgruveområdet inntegnet dagåpninger og stollnivå	1:1000
Pl. 776-03	Snitt gjennom Fensgruvene	1:1000
Pl. 776-04		
Pl. 776-05	Ø-V-gående profil gjennom diamantborhull i Tuftefeltet med geologi og analyseresultater	1:500
Pl. 776-06		

I OPPDRAK.

Undersøkelser etter sjeldne jordartselementer i Fensfeltet ble fastlagt i avtale mellom FSJ og NGU og skulle ifølge denne omfatte:

"Geologiske undersøkelser i Fensfeltet med hensyn til innhold av sjeldne jordarter, herunder forekomstenes mineralogi, kjemiske analyser og en vurdering av forekomstenes utstrekning og gehalter. Disse undersøkelser vil bl. a. bygge på det prospekteringsarbeide som tidligere er utført av A/S Norsk Bergverk."

II FENSFELTETS GEOLOGI OG GRUVEVIRKSOMHETEN I FELTET.

Se vedlagte særtrykk fra NGU nr. 208.

III TIDLIGERE UNDERSØKELSER.

Under driften av Søve Gruver ble en tidlig klar over at Fensfeltet delvis var rikt på Th og RE og at disse elementene stort sett knyttet seg til jernmalmområdene i Gruveåsen og Rauhaugområdet.

Det ble utført en del undersøkelser og delvis lagt opp omfattende planer for videre undersøkelser etter Th og RE, men i 1956 ble dette arbeide lagt til side delvis på grunn av omfattende prospekteringsarbeider etter niobmalm og delvis på grunn av økonomiske vanskeligheter.

I en rapport fra 1957 skriver direktør H. Bjørlykke (som da var sjefsgeolog i Norsk Bergverk) bl. a. :

"Norsk Bergverks undersøkelser i feltet.

Da det etter de geologiske forhold var grunn til å anta at det fantes radioaktive elementer i Søvefeltet, ble det våren 1955 gjennomført undersøkelser med Geigerteller i feltet. Disse undersøkelser viste at hele området med rødberg var radioaktivt, men enkelte områder, særlig omkring den gamle jerngruben, viste en noe høyere radioaktivitet enn rødberget forøvrig.

Kjemiske analyser viste at rødberget også inneholdt små mengder niob, fra noen hundredels prosent opp til 0,3 %, men en systematisk undersøkelse av niobinnholdet er ennå ikke gjennomført.

Kjemiske analyser.

En karakteristisk prøve av jernmalm ble sendt til analyse til Eldorado Mines laboratorium i Canada. Analysen viste 0,23 % thoriumoksyd (ThO_2) og 0,004 % uranoksyd (U_3O_8). En tilsvarende analyse utført av Institutt for atomenergi ga 0,2 % thorium (Th).

Ved Norsk Bergverks laboratorium er det gjort en del analyser av jernmalm og rødberg fra forskjellige skjerp i Fengruve-området. Disse analysene viser et innhold på 0,8 - 2 % sum RE og 0,1 - 0,3 % Th. Det er også utført en del røntgenspektralanalyser, bl. a. ved Sentralinstitutt for Industriell Forskning, og disse analyser viser at de sjeldne jordartselementene vesentlig tilhører Ce-gruppen.

Forsøk med utvinning av thoriumgehalten i rødberget.

Radiogrammer av rødberget viser at thoriumet opptrer meget finfordelt i bergarten. Thoriumet inngår imidlertid ikke i jernglansmineralet, men opptrer som et eget mineral som tildels viser noe slireformede anrikninger.

Dette mineral, som opptrer som meget fine korn, har det ikke lyktes å identifisere, selv ved hjelp av røntgenstrukturdiagrammer. Det kjemiske miljø og mineralets forhold til syrer tyder på at det er et Cerium-thoriumkarbonatmineral, tilhørende Bastnäsitgruppen. Forsøk med finmaling og en mekanisk anrikning av rødberget som er utført ved oppredningsinstituttet i Trondheim og ved geologisk avdeling på Sjøve, har ikke ført til positive resultater.

Ved borvasking har man bare fått en svak anrikning av thorium i tungmineralfraksjoner. Lutningsforsøk viser at thoriumet løser seg nesten kvantitativt i varm fortynnet svovelsyre 1 : 5, med litt natriumklorat som oksydasjonsmiddel. Av denne oppløsning kan man felle thorium og jordartselementet ved hjelp av fast natriumhydroksyd (NaOH). Ved felling ved en pH omkring 1 oppnår man et meget rent bunnfall av oksyder av thorium og Cerelementer med et godt utbytte. Denne prosess har den ulempe at det ved kalkrike prøver dannes meget gips som vanskeliggjør filtreringen. Et innhold av inntil 10 % CaO i bergarten, synes dog ikke å være sjenerende for denne prosess.

Det har vært arbeidet endel med basisk behandling etter prinsipper som anvendes for enkelte uranmalmer. Således er det gjort forsøk med basisk oppløsning med en oppløsning av kali- og natriumkarbonat og felling med NaOH. Denne metode har imidlertid ikke gitt lovende resultater.

På det nåværende stadium synes det som syrelutningsmetoden bare kan anvendes med fordel på forholdsvis kalkfattige deler av rødberget. Det mest naturlige måt-

te da være å anvende metoden på jernmalmen i feltet. I henhold til eldre foreliggende analyser, holder den rike og middelsrike malm fra Fen gruber ca. 6,7 % CaO og skulle derfor med fordel kunne anvendes til utlutning av thorium og sjeldne jordartselementer med svovelsyre. Dermed ville man samtidig oppnå den fordel å få en jernmalm hvor Fensmalmens uheldige innhold av fosforsyre (ca. 0,5 P) er fjernet."

IV. UNDERSØKELSENE SOMMEREN 1967.

1. Befaringer.

- 1/6 Konferanse hos godseier S.D. Cappelen, Ulefoss. I konferansen deltok fra NGU direktør Bjørlykke og geolog Svinndal.
- 8/6 - 16/6 Gjennomgåelse av rapporter etc. i Norsk Bergverks arkiv angående tidligere undersøkelser etter Th og RE i Fensfeltet.
- Innsamling av referanseprøver for bestemmelse av fordelingen av de enkelte sjeldne jordartselementene. I dette arbeid deltok direktør Bjørlykke og geolog Svinndal.
- 29/6 - 13/7 Innsamling av prøver i feltet, ordning av borkjerneprøver, knusing og pakking av prøver etc.
- Dette arbeid ble ledet av Svinndal med cand. mag. O. A. Christophersen som assistent.
- 4/9 - 6/9 Ekskursjon i Fensfeltet av representanter for FSJ.

2. Innsamling av prøvene.

Innsamling av bergartsprøver i feltet ble foretatt i 4 områder, Gruveåsen (Fengruve-området), Rauhaug, Vipeto og Melteig. Med disse fire områdene pluss det sentrale karbonatittområde hvor det av Norsk Bergverk var drevet omfattende prospektering etter niobmalm, regnet en med å ha en god dekning av feltets forskjellige bergartstyper. Prøvepunktene er avmerket på plansje 1.

Innsamlingen i Fensgruveområdet ble delvis utført sammen med matr. forvalter I. Wetlesen fra Cappelen. Han er nå pensjonist, men har tidligere arbeidet i

25 år ved gruvene og var meget godt kjent i området.

Det ble tatt prøver både av ren jernmalm og av sideberg slik at de innsamlede prøver stort sett skulle gi et gjennomsnitt av hele gruveområdet.

I Rauhaugområdet har det også tidligere vært gruvedrift på hematittmalm og en del av de innsamlede prøver herfra er tatt fra gruveområdet.

Like syd for gruveområdet var det i en ny veg og byggetomt blottet karbonatitt som viste meget høy radioaktivitet, og fra dette området ble det også samlet inn en del prøver.

Bergartene i Vipetoområdet er delvis meget apatittrike, og det finnes her en del helt spesielle bergartstyper. Det ble derfor innsamlet en del prøver i dette området.

Melteigområdet er karakterisert ved egenartede nefelinførende bergarter (Melteigitt), og i dette området ble det derfor også tatt en del prøver.

Hverken det prøvetatte området ved Vipeto eller det ved Melteig viste nevneverdig radioaktivitet.

Prøvene fra diamantborhullene i Tuftefeltet ble funnet fram fra Norsk Bergverks prøvelager på Ulefoss.

Det ble bare nyttet de knuste prøvene som var lagret i prøveposer. Kjernekasene med de splittede kjernene ble delvis ordnet, men det ble ikke tatt ut noe av dette materiale for analyse.

3. Preparering av prøver for analyse.

De innsamlede bergartsprøvene ble knust i kjeftetygger og tallerkenknuser ved Norsk Bergverks knuselab., og prøvene ble splittet og pakket i pappesker.

Kjerneprøvene var tidligere grovknust og ble bare kjørt i tallerkenknuseren. Også disse prøvene ble splittet og pakket i pappesker.

Tallerkenknuseren knuste prøvene ned til ca. + 2 mm. I denne form ble prøvene sendt til IFA, men det viste seg at dette laboratoriet ikke hadde utstyr for å knuse prøvene ned til analysefinhet. Prøvene ble derfor sendt til NGU i Trondheim for videre nedknusing og så returnert til IFA.

Til hjelp med knusingen, splittingen, pakkingen og ordningen av prøvene ble det gjennom Norsk Bergverk ordnet med to mann. Disse hjalp også til med skyting for uttaking av prøver et par steder.

V ANALYSERESULTATER.

Etter oppdrag fra NGU har IFA foretatt bestemmelser av de sjeldne jordartselementer La, Eu, Sm, Yb og Y i 290 bergartsprøver fra Fensfeltet. I denne serien er samtlige Eu-bestemmelser utført med nøytronaktiveringsanalyse (forkortet NA), mens La, Sm, Yb og Y er bestemt med røntgenfluorescens-spektrometri (forkortet RF). I ca. 50 av prøvene (prøver fra Bolladalen) ble La og Sm bestemt både med RF og med NA for gjensidig kontroll av metodene.

Røntgenfluorescens-analysene er utført på et Siemens sekvensrøntgenspektrometer SRS-1 for analyse av elementer fra atomnummer 9 (fluor) til 92 (uran). Røntgen-generator: Kristalloflex 4 med mA fininnstilling av rørstrøm, 4 kW utgangseffekt, 60 kV spenning, belastning inntil 80 mA max.

Analyseringen har gitt følgende resultater:

1. Feltprøver fra Gruveåsen, Rauhaug, Melteig og Vipeto.

(RF: røntgenfluorescens-spektrometri)

(NA: nøytronaktiveringsanalyse)

Prøve mrk.	RF	RF	RF	NA	RF
	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
Gruveåsen nr. 1	42	380	150	18	100
2	95	750	150	68	160
3	140	1080	170	65	<50
4	260	610	160	60	160
5	120	270	50	34	<50
6	360	880	300	98	130
7	180	1240	300	81	<50
8	110	690	160	34	120
9	220	710	550	138	140
10	96	740	270	61	180
11	100	1560	150	54	<50
12	28	1500	260	33	510
13	92	710	140	26	120

Prøve mrk.	RF	RF	RF	NA	RF	
	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm	
Gruvåsen nr.	14 A	70	720	170	54	180
	14 B	220	660	140	39	90
	15	250	1670	400	133	120
	16	200	2600	600	168	80
	17	60	2800	330	88	70
	18	140	710	60	37	< 50
	20	110	620	120	38	200
	21	190	2000	570	156	150
	22	75	700	260	45	170
	23	35	260	100	14	100
	24	44	1070	160	20	520
	25	250	1760	410	60	170
	26	95	3860	140	57	50
	27	85	2400	290	63	70
	28	120	1750	240	66	100
	29	170	960	300	65	70
	30	95	2810	580	128	< 50
	31	390	500	290	91	< 50
32	10	1140	310	44	100	
34	50	2430	210	49	300	
36	88	2610	310	76	140	
Rauhaug nr.	1	220	220	90	50	< 50
	1 ^x	180	400	65	45	< 50
	2	210	580	70	47	< 50
	3	170	620	80	42	< 50
	4	120	220	40	35	< 50
	5 A	120	220	30	37	< 50
	5 B	150	500	80	46	< 50
	6 A	110	460	90	25	< 50
	6 B	180	400	90	51	< 50
	8	54	1270	250	66	< 50
	9	100	900	120	42	< 50
10	44	4200	440	145	< 50	

Prøve mrk.		RF	RF	RF	NA	RF
		Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
Rauhaug nr.	10 B	66	5500	460	152	<50
	10 B	62	5660	430	163	<50
	11	120	410	100	46	<50
	12	75	850	85	46	<50
	12 B	78	1240	140	45	<50
	13 carbo- natitt 4410		1880	230	103	<50
	14 carbo- natitt 2320		1670	150	50	<50
	15 malm	78	2950	400	78	70
	16 rød- berg	120	740	85	39	70
Melteig nr.	1	120	60	20	12	70
	2	72	220	20	10	<50
	2 B	78	270	10	14	60
	3	190	170	50	21	150
	4	64	220	20	15	<50
	5	30	230	20	10	60
	6	84	230	10	10	<50
	7	52	20	20	10	110
	8	44	120	20	10	<50
	9	56	130	10	10	<50
Vipeto nr.	1 A	100	160	10	13	<50
	1 B carbonatitt	80	180	10	24	<50
	2	80	160	10	10	<50
	3 carbonatitt	50	180	10	24	<50
	3 lys	82	80	40	18	<50
	3 mørk	20	-	50	15	<50
	4	76	280	40	21	<50
	4 ^x	34	80	20	14	<50

Prøve mrk.		RF	RF	RF	NA	RF
		Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
Vipeto nr.	4 vipetoitt	82	300	50	15	< 50
	5 vipetoitt	56	150	10	17	< 50
	6	55	160	20	14	< 50
	7	24	60	20	10	< 50
	9	40	120	50	10	< 50
	10	40	70	20	10	< 50
	10 B	60	220	40	19	< 50
	11	46	20	10	14	< 50
	12	55	100	40	14	< 50
	12 A	44	100	50	10	< 50
	12 B	84	170	60	28	< 50
	13	48	120	20	22	< 50
	13 8	12	100	10	10	< 50
	14	35	90	10	14	< 50
	15	85	250	10	10	< 50
	16 carbonatitt	85	280	10	24	< 50
	17 carbonatitt	80	650	50	32	< 50
	18 carbonatitt	60	200	10	14	< 50
Tuftestollen	Rødberg	86	1400	30	23	< 50
	Søvitt ved rødbergsone	66	360	10	18	< 50

2. Prøver av diamantborhull fra Tuffefeltet:

Prøve mrk.	RF	RF	RF	NA	RF
	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
1 T 9	90	100	45	21	< 50
5 T 9	85	490	40	23	< 50
10 T 9	56	180	20	20	< 50
13 T 9	20	150	10	12	< 50
16 T 9	42	250	10	16	< 50
19 T 9	35	250	10	19	< 50
22 T 9	62	100	20	10	< 50
25 T 9	46	200	10	18	< 50
29 T 9	55	200	25	14	60
33 T 9	88	140	20	10	< 50
36 T 9	45	270	25	22	< 50
40 T 9	85	120	25	10	< 50
44 T 9	55	160	20	15	< 50
47 T 9	58	190	35	21	< 50
50 T 9	64	280	10	22	< 50
54 T 9	55	150	15	19	< 50
1 T 11	60	130	10	22	90
3 T 11	30	70	10	10	60
6 T 11	44	170	10	19	~ 50
9 T 11	40	150	10	17	< 50
12 T 11	40	130	10	20	< 50
15 T 11	38	220	10	20	~ 50
18 T 11	60	390	10	25	< 50
21 T 11	30	120	10	14	< 50
24 T 11	30	120	10	15	< 50
27 T 11	64	130	10	19	< 50
30 T 11	40	130	10	18	< 50
33 T 11	70	290	40	24	< 50
36 T 11	70	160	35	19	< 50
39 T 11	60	150	20	21	< 50
42 T 11	50	280	50	27	< 50

Prøve mrk.	RF	RF	RF	NA	RF
	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
45 T 11	60	130	40	21	<50
48 T 11	30	150	15	21	<50
51 T 11	70	430	65	27	<50
54 T 11	45	240	25	18	<50
57 T 11	30	150	20	18	<50
60 T 11	45	130	20	21	<50
63 T 11	15	140	30	14	<50
66 T 11	45	150	90	42	<50
69 T 11	20	140	30	10	<50
72 T 11	25	130	20	10	<50
75 T 11	45	380	65	27	<50
79 T 11	50	110	25	22	<50
82 T 11	22	70	20	16	<50
85 T 11	40	240	10	19	<50
6 T 16	42	880	50	24	<50
10 T 16	15	7720	150	73	<50
13 T 16	34	860	50	29	<50
16 T 16	38	540	10	25	<50
19 T 16	42	1780	110	52	<50
22 T 16	10	1740	100	43	<50
25 T 16	20	1640	130	52	<50
28 T 16	18	2180	50	30	<50
31 T 16	10	1660	60	28	<50
34 T 16	10	1200	10	24	<50
37 T 16	35	460	30	30	<50
40 T 16	45	1010	30	38	<50
43 T 16	28	940	60	19	<50
46 T 16	36	260	10	18	<50
49 T 16	48	250	40	31	<50
52 T 16	38	330	45	35	<50
55 T 16	38	160	40	34	<50
58 T 16	30	1660	160	69	<50
61 T 16	72	580	30	33	<50

Prøve mrk.	RF	RF	RF	NA	RF
	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
64 T 16	72	680	10	32	<50
67 T 16	56	500	20	30	<50
70 T 16	180	400	40	33	<80
1 T 18	42	210	10	18	<50
3 T 18	52	380	10	23	<50
6 T 18	36	310	10	17	<50
9 T 18	40	230	10	24	<50
12 T 18	54	240	10	25	<50
15 T 18	64	340	10	20	<50
18 T 18	56	250	10	17	<50
21 T 18	40	210	10	18	<50
24 T 18	21	100	10	10	<50
27 T 18	20	140	10	15	<50
30 T 18	44	280	10	23	<50
34 T 18	120	240	20	35	<70
36 T 18	56	220	35	32	<50
40 T 18	58	160	10	20	<50
45 T 18	40	270	10	23	<50
48 T 18	40	150	10	18	50
51 T 18	47	190	10	18	<50
54 T 18	40	180	10	18	<50
57 T 18	35	130	10	18	<50
60 T 18	60	170	10	14	<50
63 T 18	65	200	40	22	<50
1 T 21	10	4300	40	37	<50
3 T 21	16	7400	100	55	<50
6 T 21	34	6080	140	57	<50
9 T 21	10	7360	80	40	<50
12 T 21	10	6800	70	36	<50
15 T 21	10	4880	90	32	<50
18 T 21	10	2300	80	23	<50
21 T 21	10	2400	130	31	<50
24 T 21	10	4680	60	40	<50

Prøve mrk.	RF	RF	RF	NA	RF
	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
27 T 21	10	3140	50	24	< 50
30 T 21	46	5600	30	42	< 50
33 T 21	16	1600	30	22	< 50
36 T 21	70	460	10	27	< 50
39 T 21	28	1060	30	24	< 50
42 T 21	44	4440	110	62	< 50
45 T 21	10	1800	90	37	< 50
48 T 21	15	1380	50	33	< 50
1 T 23	70	360	60	33	< 50
3 T 23	36	270	50	26	< 50
6 T 23	44	240	20	25	< 50
9 T 23	36	540	20	35	< 50
12 T 23	58	3520	30	49	< 50
15 T 23	40	3630	90	38	< 50
18 T 23	62	940	110	46	< 50
21 T 23	22	570	70	40	< 50
26 T 23	15	700	160	52	< 50
29 T 23	22	450	90	43	< 50
32 T 23	15	490	150	49	< 50
35 T 23	35	540	120	41	< 50
39 T 23	18	790	100	52	< 50
42 T 23	10	850	65	38	< 50
45 T 23	25	940	55	33	< 50
48 T 23	10	1460	90	40	< 50
51 T 23	16	1920	70	49	< 50

3. Prøver av diamantborhull i Tuffestollen.

Boret for undersøkelse av sone med uranpyrochlor.

1 Ts 7	25	90	170	18	< 50
2 Ts 7	40	110	10	23	< 50
3 Ts 7	50	100	20	24	< 50
4 Ts 7	48	140	10	16	< 50
5 Ts 7	46	100	15	10	< 50

Prøve mrk.	RF	RF	RF	NA	RF
	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
6 Ts 7	48	110	10	10	<50
7 Ts 7	40	190	15	18	<50
8 Ts 7	38	210	10	15	<50
9 Ts 7	36	180	15	13	<50
10 Ts 7	48	60	20	10	<50
11 Ts 7	40	140	10	16	<50
12 Ts 7	86	140	15	14	<50
13 Ts 7	45	120	10	17	<50
14 Ts 7	45	130	10	10	<50
15 Ts 7	45	120	10	19	<50
16 Ts 7	48	30	10	10	<50
17 Ts 7	40	110	15	21	<50
18 Ts 7	35	220	65	25	<50
19 Ts 7	55	160	20	25	<50
20 Ts 7	52	170	35	10	<50
21 Ts 7	50	150	15	10	<50
22 Ts 7	55	140	210	16	<50
23 Ts 7	45	1400	25	15	<50
24 Ts 7	52	150	10	13	<50
25 Ts 7	75	170	20	15	<50

4. Prøvene fra Bolladalen.

Disse prøvene er tatt fra to borhull som ble boret av NB i 1956 som et ledd i Th- og Re-undersøkelsene. Borhullene er plassert i Fengruveområdet, se plansje 776-02. Kjerne-kassene fra disse hullene var i en dårlig forfatning, så noen systematisk undersøkelse av kjernene var ikke mulig, men en del spredte kjernebiter på ca 10 cm av forskjellige bergartstyper ble utplukket for måling av radioaktiviteten som skulle gi et mål for Th-innholdet. Radioaktiviteten ble målt av cand. real. Gunne Ryntveit fra Kjerne-kjemisk institutt.

Ryntveit skriver i sin rapport bl. a. :

"Målingene ble foretatt ved Sjøve Gruver i tiden 13/6 til 15/6 1967. Som standard-prøve ble brukt et pulverisert thoriumholdig mineral med oppgitt thoriuminnhold på 0.2%. Dette pulver ble fylt i et papirhylster med samme form og størrelse som boreprøvene. Ved måling av pulverprøvene ble det veid inn 50 g i pappbeger, både av prøvene og av standarden.

Samtlige prøver ble målt på en α -detektor hvor apparaturen registrerte α -stråling med energi 0.24 MeV fra ^{212}Pb , som er et desintegrasjonsprodukt i thoriumkjeden.

I de tilfelle da borkjernene avvek fra standardens lengde, 10 cm, ble det korrigert for dette."

Kjerneprøvene ble også målt og veiet for tilnærmet å kunne beregne prøvenes sp. v. som igjen gir et mål for Fe-innholdet. Prøvene ble senere analysert på RE ved IFA for at en skulle kunne få et bilde av hvorledes Fe, Th og RE opptrer i relasjon til hverandre.

Resultatet av disse undersøkelsene er følgende:

Prøve nr.	sp. v.	Th %	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm
1	3.3	0.21	100	3340	360	66
2	3.0	0.13	180	2380	290	62
3	2.7	0.14	150	2880	280	59
4	2.8	0.19	260	4520	550	110
5	3.3	0.16	120	2780	310	68
6	4.4	0.08	84	2660	380	54
7	2.7	0.22	220	1920	300	61
8	2.7	0.09	130	2020	330	75
9	3.0	0.09	210	4000	520	90
10	4.4	0.45	78	6600	740	130
11	2.5	0	32	280	80	10
12	3.5	0.33	210	9760	880	150
13	3.0	0.14	180	3840	330	106
14	2.7	0.05	140	400	140	38
15	3.1	0.21	100	3360	260	61
16	3.0	0.10	260	2880	270	62
17	3.2	0.15	120	2300	360	71
18	4.4	0.11	32	2560	320	40
19	3.2	0.15	100	2420	320	45
20	2.8	0.13	340	2760	500	75

Prøve nr.	sp. v.	Th %	Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm
21	3.0	0.12	290	900	310	77
22	2.7	0.23	140	1800	260	53
23	3.2	0.17	130	2760	370	55
24	3.0	0.10	110	3260	340	54
25	2.9	0.04	120	420	55	27
26	3.0	0.11	58	900	130	37
27	2.9	0.20	200	3040	330	90
28	4.1	0.25	120	9400	990	190
29	3.7	0.07	160	1120	210	41
30	3.0	0.12	320	1980	380	87
31	2.9	0.36	210	4900	270	140
32	2.9	0.15	570	2000	630	55
33	2.8	0.15	320	1600	240	60
34	2.9	0.04	92	3620	68	27
35	2.8	0.06	84	460	120	10
36	2.9	0.09	190	940	170	52
37	2.9	0.11	150	3480	240	65
38	3.0	0.38	370	4160	490	120
39	3.4	0.08	130	1960	520	75
40	2.9	0.02	36	460	60	10
41	3.0	0.08	150	2520	170	48
42	3.0	0.11	170	1640	140	45
43	2.8	0.11	200	2560	210	64
44	3.0	0.13	210	1420	280	61
45	3.1	0.14	380	5420	550	150
46	3.0	0.42	550	3960	360	110
47	2.9	0.19	200	3700	430	75
48	2.6	0.14	440	1260	250	82

Analysene viser at det er liten relasjon mellom sp. v., Th og RE og at det også er store variasjoner innenfor de sjeldne jordartselementene. En må derfor anta at det opptrer flere forskjellige mineraler som bærere av Th og RE.

Mineralogiske undersøkelser av en del utvalgte prøver foregår nå ved NGU. Foreløpig har en isolert mineralet monazite (Ce, La, Y, Th)PO₄. Det har

tidligere vært antatt at en har et mineral i bastnäs-site-gruppen $[(\text{Ce}, \text{La}, \text{Di})\text{FCo}_3]$ (Di står for andre sjeldne jordartselementer), og cand. real. P. Chr. Sæbø har ved NGU.s mineralogiske laboratorium identifisert parisit/synchysite. Om det finnes andre Th-bærende mineraler enn monazite er ikke helt klarlagt.

VI MINERALOGISKE UNDERSØKELSER.

Ved NGU.s røntgenlaboratorium er det utført en del mineralogiske undersøkelser med en prøve av jernmalm fra skjerp "Tyskland". Denne prøven er analysert ved NGU.s kjemiske avdeling med følgende resultat:

Y ppm	La ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm
300	1300	300	50	20

Prøven er ganske sterkt radioaktiv, men Th er enda ikke bestemt.

Følgende rapport fra de mineralogiske undersøkelsene er utarbeidet av statsgeolog Thor L. Sverdrup:

Det ble splittet ut en prøve 60 - 100 mesh, vekt 6400 mg (6,4 g). Fraksjonen ble først vasket, deretter behandlet med acetylentetrabromid (sp. vekt 2,96). Dette ble gjort for å skille de lette mineralene fra de tunge. Så vel lettfraksjon som tungfraksjon ble deretter kjørt på Frantz magnetseparator. Dette for å skille mineralene fra hverandre avhengig av de magnetiske egenskaper.

Resultat:

Lettfraksjon:

0,4 amp.	(50 mg.) kvarts 60 %, kalkspat 10 %, dolomitt 10 %, hematitt 20 %.
0,5 "	(30 mg.) kvarts 80 %, hematitt 10 %, dolomitt 10 %.
0,6 "	(30 mg.) kvarts 50 %, hematitt 10 %, dolomitt 30 %, kalkspatt 10 %.
0,7 "	(10 mg.) kvarts 40 %, hematitt 10 %, kalkspatt 48 %, muskovitt 2 %.
0,8 "	(10 mg.) kvarts 10 %, hematitt 5 %, dolomitt 50 %, kalkspat 34 %, muskovitt 1 %.
1,0 "	(10 mg.) kvarts 10 %, dolomitt 85 %, hematitt 5 %.
1,2 "	(10 mg.) kvarts 95 %, dolomitt 5 %.
1,5+ "	(10 mg.) kvarts 70 %, kalkspat 25 %, hematitt 5 %.
1,5- "	(20 mg.) kvarts 70 %, kalkspat 25 %, hematitt 5 %.

Tungfraksjon:

Uten strøm (100 mg)	hematitt 100 %
0,0 amp. (900 mg)	hematitt 100 %
0,05 " (250 mg)	hematitt 100 %
0,1 " (250 mg)	hematitt 100 %
0,2 " (3500 mg)	hematitt 100 %
0,3 " (1100 mg)	hematitt 98 %, kalkspat 2 %
0,4 " (50 mg)	hematitt 50 %, apatitt 30 %, monazitt 1 %, clinozoisitt 2 %, svovelkis 12 %, diopsid 5 %.
0,6 " (40 mg)	apatitt 48 %, svovelkis 20 %, monazitt 30 %, götitt 1 %, diopsid 1 %.
1,0 " (10 mg)	apatitt 60 %, svovelkis 40 %.
1,5+ " (10 mg)	apatitt 40 %, svovelkis 60 %
1,5- " (10 mg)	svovelkis 99 %, apatitt 1 %, zirkon (spor).

Samtlige av de oppgitt prosenter må tas med forbehold da hematitt kan "skjule" enkelte andre mineraler.

Som en ser, får en noe lette og tunge metaller i begge grupper, videre opptrer enkelte mineraler fra magnetisk til umagnetisk felt. Dettets skyldes halvkorn.

Følgende mineraler er identifisert:

Kvarts, kalkspat, dolomitt, hematitt, muskovitt, scheelitt, mikrolin, apatitt, monazitt, clinozoisitt, svovelkis, hornblende, götitt og spor av zirkon.

For vurdering av sjeldne jordarter er spesielt monazitt og apatitt av interesse. Monazitt er oss bekjent ikke tidligere identifisert fra feltet. I den prøven vi har hatt til undersøkelse kan en etter vasking lett skille mineralene fra hverandre. Det kan selvfølgelig være mulig at noe monazitt og apatitt skjuler seg bak hematitt i de mere magnetiske tungfraksjonene, men dette skulle ikke bety meget for monazitt som har en markert anrikning i fraksjon tung 0,6 amp. Apatitt opptrer over et langt videre magnetisk felt.

Ved Kjemisk avdeling, NGU, har de undersøkt Eu-innholdet i tungfraksjon 0,6 amp., 1,0 amp. og 1,5 amp. Undersøkelse er utført for å avgjøre om Eu-innholdet er knyttet til apatitt eller monazitt.

Undersøkelsene har vist at Eu-innholdet er størst i fraksjon 0,6 amp., avtagende i 1 amp., mens en i 1,5 amp. ikke kan påvise Eu eller andre sjeldne jordarter.

Fraksjon 1, 5 amp. holder apatitt.

" 1 " " "

" 0,6 " " monazitt og noe apatitt.

Undersøkelsen viser at det er monazitt som har Eu (og sjeldne jordarter forøvrig), mens apatitten er tilnærmet fri for sjeldne jordarter. At en finner Eu i fraksjon 1 amp. viser at denne har noe monazitt, antagelig som halvkorn.

VII KONKLUSJON.

Undersøkelsen har vist at de sjeldne jordartselementene stort sett er konsentrert i jernmalmområdene Fensgruvene og Rauhauggruvene, men at også rene karbonatittbergarter i nærheten av disse jernmalmområdene viser til dels høyt innhold av RE og også til dels en ganske høy Th-aktivitet.

Det ϕ -V gående profilet fra Tuffefeltet gjengitt i plansjene 04 - 05 og 06 viser en tydelig stigning av RE-innholdet ϕ -over mot Fensgruveområdet. Stigningen begynner med diamantborhullet T 16 og har maksimum i T 21. Det er særlig La som viser en kraftig økning fra 100-200 ppm og opp til en gjennomsnitt på ca. 3000 ppm i hull T 21. Også Sm og Eu viser en økning med ca. 2-3 ganger i forhold til prøvene fra borhullene lenger V. Y-innholdet ser ut til å være nokså konstant.

Prøvene fra Fensgruveområdet viser stort sett et høyt innhold av både Y, La, Sm, Eu, men med en del variasjoner. Det vil senere bli undersøkt om en kan finne noe system i disse variasjonene.

Prøvene fra Rauhaug viser en anrikning av samme størrelse som den i Fensgruveområdet, men det er her to prøver, 13 og 14, av en karbonatitt som viser et særlig høyt innhold av Y (4410 og 2320 ppm). Hvilke mineraler dette høye Y-innhold er knyttet til, er enda ikke undersøkt. Prøvene merket 10 og 10B som er en karbonatitt med noe hematitt viser spesielt høye verdier både på La, Sm og Eu.

Prøvene fra Vipeto og Melteig viser ingen spesiell anrikning av sjeldne jordartselementer.

Prøvene fra diamantborhullet Ts 7 som er boret i Tuffestollen på en sone med det uranførende niobmineral Elsworthit, viser ingen nevneverdig anrikning av RE. Denne sonen med Elsworthit er det eneste sted hvor det er påvist U i Fens-

feltet. Radioaktiviteten ellers i feltet skyldes Th, og i referanseprøven av jernmalm fra Fensgruven er det ifølge analysen fra Bureau of Mines 0,1 % Th mens U ikke er påvist.

To prøver fra Tuftestollen tatt fra en rødbergssone og søvitten ved sonen, viser en tydelig anrikning særlig av La i Rødberget.

Alle prøvepunktene og de undersøkte diamantborhullene er inntegnet på det geologiske kartet plansje 01. Her er også inntegnet mutingspunktene for 1967 til henholdsvis S.D. Cappelen og A/S Norsk Bergverk.

Videre arbeid med mineralundersøkelser og kjemiske undersøkelser av de innsamlede prøver vil bli fortsatt ved NGU, og en regner med å få det fullført i løpet av vinteren.

VIII RE I ANDRE KARBONATITTFOREKOMSTER AV SAMME TYPE SOM FENS- FELTET.

Det er i de senere år rundt om i verden funnet og beskrevet en rekke karbonatittforekomster av samme type som Fensfeltet, og mange av disse er karakterisert ved et meget høyt innhold av RE. De rikeste i dag er i Mountain Pass i California. I 1954 ble det i Geological Survey Professional Paper 261 publisert en artikkel om denne forekomsten under tittelen

Rare - Earth Mineral Deposits of the Mountain Pass
District, San Bernadino County, California.

Siste avsnitt fra denne artikkelen er gjengitt nedenfor:

ECONOMIC OUTLOOK.

The rare-earth deposits at Mountain Pass offer great promise as a source of the rare-earth metals and barite. The amount of these materials produced depends upon several factors. One of these is the demand for rare earths by industry, a demand which has been relatively small but may increase as new uses for the rare earths are found. Another factor is the development of the most satisfactory milling methods for the separation of the rare-earth minerals, barite, and other constituents of the Mountain Pass ores. Byproduct barite should find a ready market, because the district is relatively close to southern California oilfield operations.

The Sulphide Queen carbonate body, because of its large size, is the most easily mined and most promising source of rare-earth metals in the district. Although some of the thin veins are locally richer than the average Sulphide Queen carbonate rock, they are less easily mined and, judged by the Birthday veins, likely to be irregular or discontinuous in depth. Should the value of thorium increase, some of the thinner veins and radioactive shear zones might constitute sources of both thorium and rare earths, for, in general, richer concentrations of thorium are found in the shear zone deposits than in the Sulphide Queen carbonate body. The thorium which makes up a small fraction of a percent of the Sulphide Queen body might constitute a potential byproduct if the demand for thorium is sufficient to warrant recovering it and methods of recovery are satisfactory.

The Sulphide Queen carbonate body is irregular in shape at the surface, and is probably so at depth, but there is no geological reason to expect marked changes in thickness or overall rare-earth content at a shallow depth. The thinner veins and parts of mineralized shear zones are not uncommonly discontinuous or arranged in echelon. Individual bodies in the mineralized shear zones have not been explored in depth and are likely to be less persistent than the large Sulphide Queen mass.

Tables 10-13, in the appendix to this report, give analytical data for about 140 samples, chiefly the rare-earth and thorium contents. These results are summarized by rock type in table 10, which brings out clearly the high rare-

earth and thorium content of the carbonate rocks in comparison with the igneous rocks. Table 10 also demonstrates the predominance of thorium over uranium in accounting for the radioactivity, which is expressed here as equivalent uranium. The tables illustrate the considerable variation in rare-earth and thorium content in individual deposits.

The field and laboratory information assembled by the U.S. Geological Survey on the various deposits in the Mountain Pass district permits the estimate of an inferred reserve for the district in excess of 25 million tons of rock containing 5 to 10 percent rare-earth oxides, 20 to 25 percent barite, and a small fraction of 1 percent of thoria. Cerium is the preponderant rare-earth element, lanthanum and neodymium next in abundance, and praseodymium and samarium less abundant. The geological potential reserve in the whole district is of vaster magnitude and may exceed 100 million tons, containing about 5 percent of rare-earth oxides, or more than 10 billion pounds of rare-earth oxides. This represents the greatest concentration of rare earths known in any type of rock or district in the world.

Trondheim 22. januar 1968.

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Geofysisk avdeling



Sverre Svinndal
geolog

THE CARBONATITE AND PER-ALKALINE ROCKS OF THE FEN AREA

Petrology.

BY SVEINUNG BERGSTØL AND SVERRE SVINNDAL

The Fen area lies near Ulefoss in Telemark, 119 km southwest of Oslo and 12 km west of the boundary of the Oslo region. The Precambrian basement in the area has been invaded by peralkaline rocks and carbonatites over an area of about 5 square kilometres.

The area has been investigated and described by, inter alia, W. C. Brøgger (1921) and Egil Sæther (1957).

The geological mapping has been based on small and infrequent exposures since most of the area is heavily covered. Some of the rocks described below are only found as erratic blocks.

The age of the Fen area was considered by Brøgger to be Eo-cambrian; later attempts were made to correlate it with the Permian igneous rocks of the Oslo Region on the basis of the similarities between the two. Faul and coworkers (1959) carried out K/Ar age determinations on biotite occurring in søvite and arrived at an age of 565 million years. Sæther (1957) determined Th/Pb ages on columbite, koppite and zircon. He obtained a result between 400 and 600 million years. An unpublished K/Ar determination on K-feldspar from a hollaite pegmatite gave an age of 413 million years (P. Schmidlin and W. Gentner). In this connection it may be mentioned that the petrologically similar Alnö area in Sweden has, in the opinion of von Eckermann, "a late or post-Jotnian" age. A preliminary determination of the maximum age of the Alnö rocks by U and Th in pyrochlore from søvite gave the result: 563 million years. (Eckermann & Wickmann 1956.)

The main rock types in the Fen area are:

Fenite

Urtite-ijolite-melteigite-vipetoite

Søvite

Rauhaugite

Hollaite

Rødberg

Kimberlite (damtjernite)

Fenite is an alkali syenite and is found in the peripheral parts of the Fen area. The main minerals in the rock are alkali feldspar, partly as a characteristic microperthite, aegirine, aegirine-augite and minor Na-amphibole. Apatite, zircon and pyrite occur as accessory minerals. Quartz is not found in the most typical fenite, but otherwise it occurs in greatly varying amounts.

The gneiss which surrounds the Fen area is a granitic one with occasional layers of mica schist and some areas of amphibolite. The ratio oligoclase to microcline is generally 1 to 1. This gneiss is fenitized towards its boundary against the Fen area. The first sign of fenitization is that the biotite is replaced by aegirine and soda amphibole, at times also by iron oxide. Nearer to the complex the microcline of the gneiss, and later also the plagioclase, are substituted by a microperthite. Nepheline and calcite are also usual in typical fenite.

In some places the fenite constitutes only a narrow zone between the Fen rocks (see below) and the gneiss. Frequently granitic breccias also occur in this zone, consisting of gneiss fragments in a groundmass of finely crushed granitic material. These breccias also show transitions to kimberlite breccias (see later) where the gneiss fragments become scarce and the groundmass is a fine-grained kimberlite with biotite phenocrysts.

In the more central parts of the Fen area occur several different basic rocks, all of which are normally lacking in feldspar.

Urtite, consisting mainly of nepheline (70—90 %), together with pyroxene and biotite.

Ijolite, consisting of nepheline and aegirine-augite in equal amounts.

Melteigite, which has aegirine-augite as its main constituent, with up to 30 % nepheline.

Vipetoite consists of augite, amphibole, biotite and minor calcite.

Titanomagnetite, apatite, pyrite, titanite, and occasionally melanite and cancrinite, occur as accessories in the rocks.

The above rocks have partly an hypidiomorphic texture and thus resemble igneous rocks.

Along the boundaries between the fenite and these basic rocks occur transitional types containing nepheline, feldspar, pyroxene, biotite and melanite. They are partly coarse-grained and partly fine-grained rocks. Brøgger (1921) has called them:

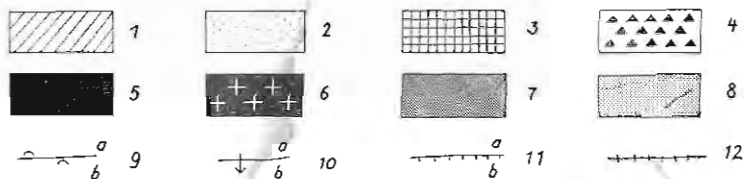
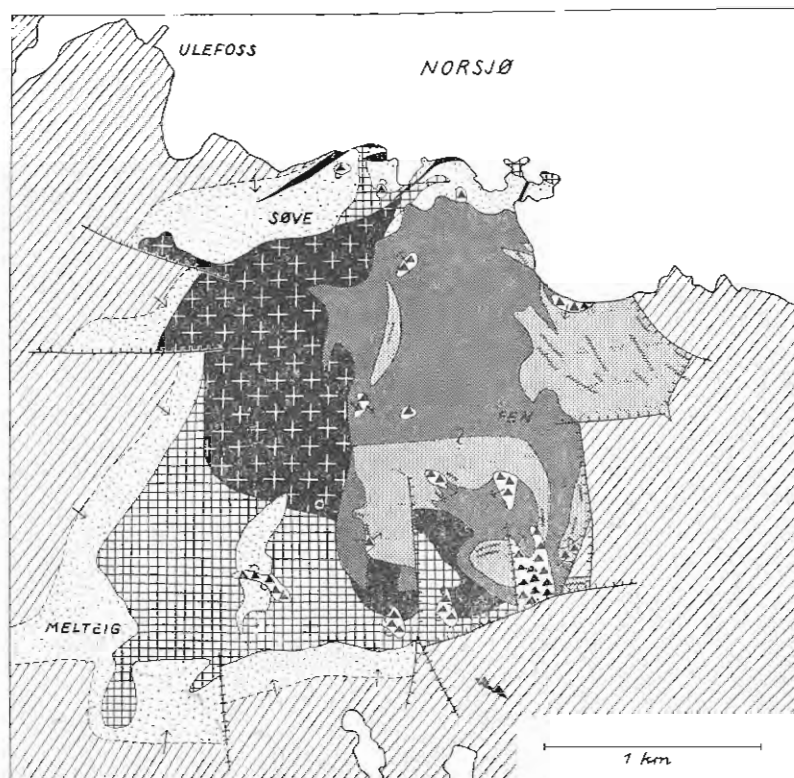


Fig. 29. Simplified map of the rock complex of the Fen area. 1. Precambrian gneiss. 2. Fenite. 3. Different basic rocks (vipetoite, melteigite, ijolite etc.) 4. Kimberlite (Damtjernite). 5. Søvite. 6. Hollaite. 7. Rauhaugite. 8. "Rødberg" (with hematite ore). 9. Intrusive contact (a older rock, b younger rock). 10. Metasomatic contact (rock b is a metasomatic product of a). 11. Fault. 12. Fault (displacement unknown). (After E. Sæther 1947.)

Juvite, which is a nepheline syenite with orthoclase, nepheline, aegirine, biotite and a little calcite.

Tveitåsite, a melanocratic rock consisting of alkali feldspar and aegirine-augite (shonkinite).

Kampreite, a melanocratic rock with alkali feldspar and biotite.

Malignite, consisting of alkali feldspar, nepheline and aegirine-augite.

Tinguåite, a leucocratic dyke rock.

These rocks have their widest development in the southern part of the Fen area, but they are also to be found in the northern part. They are invariably surrounded, and always separated from the basement rocks, by a zone of fenite. Within the actual melteigite there is also found pulaskite fenite.

Brøgger (1921) and Sæther (1957) were of the opinion that these basic rocks are magmatic. Sæther states further that the origin of such a magma is difficult to conceive, it must have had a long history of differentiation or assimilation before it could give rise to such end products.

Harry von Eckermann (1948) has shown that the melteigite-ijolite series in the Alnö area in Sweden has a metasomatic origin and has been formed from the Precambrian rocks by addition of alkalis and removal of SiO_2 ; in other words, by a continuation of the process of fenitization. He is further of the opinion that only the feldspar-nepheline-pyroxene rocks are of primary eruptive origin. In the Alnö area it can be seen clearly that the melanocratic areas in the strongly fenitized migmatite have been altered to melteigite-ijolite. This cannot be seen directly in the Fen area, but in the Precambrian rocks round the complex are found small areas with melanocratic rocks which could give rise to melteigite through alkali metasomatism.

Søvite, which has a large areal extension in the Fen area, is a carbonate rock of variable composition. The rock was called søvite by Brøgger (1921) after Søve farm and agricultural college. Søvite is in parts coarse-grained, with a grain size from 2—4 mm, whilst otherwise it has more similarity to a normal marble. Ankerite and dolomite occur in variable amounts and in places can become quite dominant, in which case the rock is called *rauhaugite*. This rock occupies a large area in the eastern part of the Fen area. Mica minerals, magnetite, pyrochlore and apatite are found in the søvite in variable quantities.

The pyrochlore minerals is a *koppite* which occurs as octahedra,

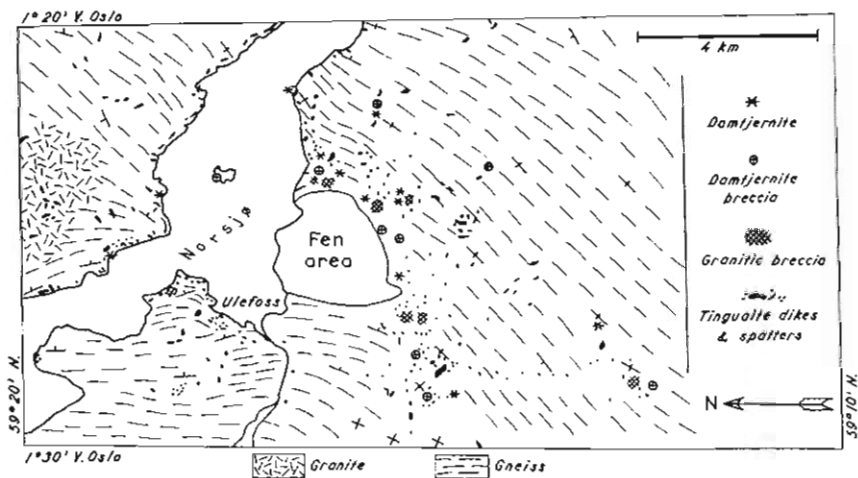


Fig. 30. Sketch map of the district adjacent to the Fen area (Damtjernite = Kimberlite). By S. Bergstøl.

varying in colour from light to dark brown. The koppite has partly gone over to columbite, but has retained its original octahedral form. The micas are chiefly phlogopites, occurring in both large and small crystals. The apatite is a fluor apatite and occurs as small prisms.

The mode of formation of the søvite is one of the central problems of the Fen area and is important for the understanding of the genesis of the area as a whole and of peralkaline rocks in general.

Brøgger (1921) came to the conclusion that søvite was magmatic. He drew this conclusion mainly from the fact that the rock occurs in dykes, which are typical of igneous rocks. The hollaite (see later) has, in his view, originated by mixing of the magmas which elsewhere formed søvite and melteigite, or in other places by the assimilation of fenite in søvite magma.

Bowen (1924 and 1926) was of the opinion that the søvite was formed metasomatically from silicate rocks (fenite, melteigite).

Sæther (1957) thinks that søvite has been formed metasomatically from silicate rocks and must be considered as a perimagmatic hydrothermal product of the same magma which gave rise to the already mentioned basic silicate rocks, and which has, partly, by means of plastic flow, been intruded into the older rocks. Sæther bases his theory in the main on the fact that there are found relics of vipetoite and melteigite in the søvite, which bears witness to metasomatic replace-

ment of silicate rocks by carbonate rock. In addition the structures in the søvite provide evidence of mechanical deformation.

H. von Eckermann (1948) maintains that the søvite in the Alnø area was formed by crystallisation of a carbonate melt at a temperature of 400—450° C. This melt, he suggests, found its way through the earth's crust by means of an explosion leading to the formation of søvite "cone sheets", which play an important role in this complex.

Hollaite is a hybrid rock, lying between søvite and the melteigite-ijolite series. This rock, which is of variable composition, has been called pyroxene-søvite and søvitic melteigite by Sæther (1957). It occurs both in contact with the søvite and by itself in the central part of the complex.

Rødberg ("redrock") is a carbonate rock which is red-coloured due to finely dispersed hematite. (Hematite concentrations (along NW—SE striking fissures) formed by iron pneumatolysis are exploitable as iron ore (Fen iron mines). Some of the dyke-like masses show high radioactivity and an average content of 0.2 % ThO₂ and 1 % rare earth elements (including Ce₂O₃). Due to the fine-grained nature of the rock the mineral containing these elements is not known.) The carbonate is mainly calcite, and mostly fine-grained. The hematite occurs as poikilitic inclusions in the carbonate crystals as well as between the grains. In thin section the rock appears full of reddish dust particles. This rock is as yet only known from the Fen area.

Kimberlite (Damtjernite) occurs in dykes, dyke-like bodies and as kimberlite breccias in volcanic plugs. This rock occurs both in the complex and outside it. The kimberlite dykes consist mainly of phenocrysts of biotite in a fine-grained groundmass of augite amphibole, biotite, magnetite, nepheline and alkali feldspar. Phenocrysts of amphibole, pyroxene and olivine are also found in varying quantities.

In the kimberlite breccias fragments of the surrounding rocks occur in varying quantities. The fine-grained groundmass in the breccias is on the whole identical with that in the dyke rocks. The phenocrysts are also the same, but amphibole occurs here in greatest amount and in large individuals (up to 5 cm long). The amphibole is mostly a barkevikitic hornblende, the pyroxenes are diopside and aegirine-augite, and the olivine has a fayalite content of 12—18 %, often being altered to canbyite. The biotite crystals have hexagonal forms, but often have their corners rounded off.

The kimberlite is the only rock in the Fen area which can be said with certainty to be of igneous origin.

Sæther (1948) is of the opinion that the carbonatites, the rauhaugite and the rødberg are metasomatically altered kimberlite. He has found transitions between these rocks and thinks that the kimberlite was emplaced first and that the carbonatites were formed later by addition of CO₂ from deeper parts of the magma.

In the Precambrian rocks around the Fen area there are, besides the kimberlite dykes, tinguaitite, carbonate and dolerite dykes.

Tinguaitite occurs in large amounts as flat-lying dykes and as lava patches, and in lesser amounts as large dyke-like masses. This rock exhibits phenocrysts of nepheline, alkali feldspar and partly also aegirine-augite in a groundmass of alkali feldspar, nepheline and aegirine. The nepheline is partly altered to muscovite.

Carbonate veins and dykes occur in lesser numbers, but often together with the tinguaitite dykes and concordant to them. It has not so far been possible to prove that these are cone-sheets as in the Alnø area. Their composition varies from pure, light-coloured calcite veins to dark dykes carrying large amounts of chlorite and, in parts, hematite.

Dolerite dykes intersect both the Precambrian rocks and those of the Fen area. They are chiefly steeply dipping with N—S strikes.

Mining and exploration work.

BY H. BJØRLYKKE AND SVÉRRE SVINNDAL

Iron Ore.

The Fen iron mines were in production from 1652 to 1927. The ore is a hematite ore which occurs as N—S trending dikes and lenses in the large "rødberg" area in the eastern part of the complex. The chief mine was situated at the shore of lake Norsjø, but some smaller mining operations also took place on rødberg rocks in other parts of the district. The old mine is about 200 m deep and the total ore mined has been estimated at about 1 mill. t.

Later prospecting work in this area, carried out by A/S Norsk Bergverk, showed a rather strong radioactivity in the rødberg rocks, caused by a content of thorium. The thorium seems to be enriched in the hematite ore, which according to chemical analyses contained 0.2 % Th and about 1 % Ce elements. The thorium-bearing mineral occurs as very fine disseminations in the ore but has not yet been identified. It is probably a mineral belonging to the parisite group. The rødberg represents a probable future source of Th and the Ce elements.

The niobium ores.

The rocks of the Fen area are geochemically enriched in niobium. In 1918 V. M. Goldschmidt found a pyrochlore mineral in a søvite rock near the shore of lake Norsjø. Because of an erroneous chemical analysis of the mineral, showing 37 % Ta_2O_5 and 26 % Nb_2O_5 , it was named microlite. Later investigations of Norwegian microlite minerals by H. Bjørlykke (1934) showed, however, that this mineral was a niobate with only negligible amounts of Ta, and the composition and structure were very similar to those of koppite, previously described from carbonatites at Kaiserstuhl in Germany.

However, the pyrochlore minerals in the søvite show a very varying composition, and also the colour of the minerals varies, from colourless to red, brown and black. According to a series of chemical analyses the composition of the Søve pyrochlore varies within the following limits:

Nb_2O_5	58—72 %
Ta_2O_5	0.5— 2 %
TiO_2	0.5— 6 %
FeO	1 —20 %
CaO	0.5—20 %
ThO ₂ and oxides of the rare earth elements 0.5—2 %.	

The niobium concentrates produced by the Søve mine have a ratio Nb:Ta around 100:1.

Euhedral cubic crystals of pyrochlore very often exhibit a marked zoning (the zones being very different in composition) and a poikilitic structure with inclusions of apatite (fig. 31). X-ray photographs show that the cubic crystals of iron-rich pyrochlores, with more than 15 % FeO, are actually pseudomorph consisting of columbite. Similar pseudomorphism of iron-rich pyrochlores has been described by T. C. James and Duncan McKie from carbonatites in Tanganyika. These authors advance the opinion that this process has been caused by later iron-rich solutions.

A state-owned Company, A/S Norsk Bergverk, was constituted in 1951 in order to produce niobium concentrate from the pyrochlore-bearing søvites. After extensive development work and ore dressing tests mining started in 1953 as a quarry on the exposed Cappelen ore, near the shore of lake Norsjø. This ore body, however, turned out



Fig. 31. Zoned crystal of pyrochlore with inclusion of apatite. $\times 40$.

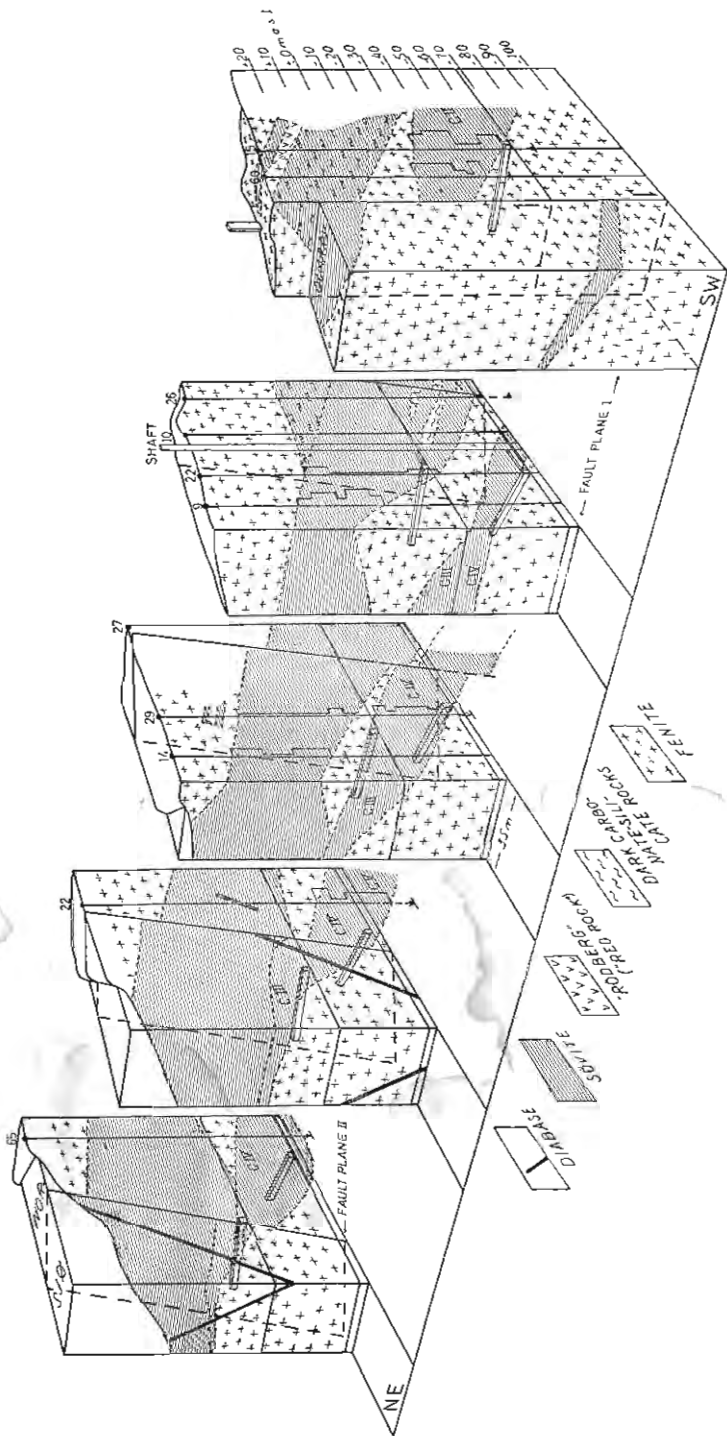
to be cut off in the SW by a dislocation along a steep plane. Diamond drilling found the continuation of the ore on the other side of the dislocation plane about 60 m below the surface, and a shaft was sunk for the purpose of mining this ore. Further development work disclosed many smaller dislocations in this ore body, and the different parts of it have been given the designations C II to C V.

The block diagram will give a picture of these ore bodies. Analyses of diamond drill cores from the Hydro deposit showed that the rock here had too low niobium contents for economic mining. The tunnel through this deposit was therefore carried on for 900 m southwards into the central part of the large søvite area. Today about 30 000 t raw ore is produced yearly in this area and about 100 000 t in the Cappelen mine.

The chief mineral components of the Cappelen ore are calcite (80 %), apatite (7 %), magnetite (3 %), pyrite (1 %) and pyrochlore (about 0.5 %). The silicates are chiefly mica, tremolite, alkali-amphiboles, and zoisite. Other accessory minerals are fluorite, topaz, zircon and barite.

The ore from the Tufte area differs from the Cappelen ore by a higher content of dolomite. Some of the ore zones in this area contain very iron-rich pyrochlore minerals which have been altered into columbite by pseudomorphism. In this area also a zone with an uranium-rich pyrochlore (15—20 % U_3O_8) corresponding to an ellsworthite has been encountered.

The mining operations and development work carried out by A/S Norsk Bergverk have given a good knowledge of the structures in the søvite rocks and of the niobium mineralization. In the peripheric carbonatite bodies, the Cappelen and the Hydro deposits, the pyrochlore



minerals are enriched in the outer parts. When the thickness of the dike-shaped bodies is more than about 30 m they usually have an inner core with rather pure carbonate minerals with no or insignificant niobium content. In the large central carbonatite area, around Tufte, the carbonatites exhibit a vertical foliation similar to a flow structure. An extensive diamond drilling program has been carried out along E—W profiles, and the cores show a continuous alternation of bands of calcite and dolomite in the ratio about 1:3.

The niobium mineralization in this area seems to be connected with N—S trending, partly brecciated, zones in the carbonatites. The results of the study of the niobium ore in the Fen area lead to the conclusion that the formation of the pyrochlore minerals is post-magmatic, and may have taken place through metasomatic processes caused by gases and solutions, probably in many stages, after the formation of the alkaline rocks. This theory will explain the mineralization along the peripheric parts of the carbonatite bodies, the zonal structure, and the variable composition of the pyrochlore minerals. The other accessory minerals, such as zircon, fluorite, topaz, barite and probably also the magnetite and pyrite, seem to have been formed by the same processes as the pyrochlore.

Small breccias of kimberlite (damtjernite) in the gneiss areas surrounding the Fen district indicate that the alkaline rock complex may extend below the surrounding gneiss. The carbonatites of the Fen area thus may represent the upper part of a larger alkali rock complex.

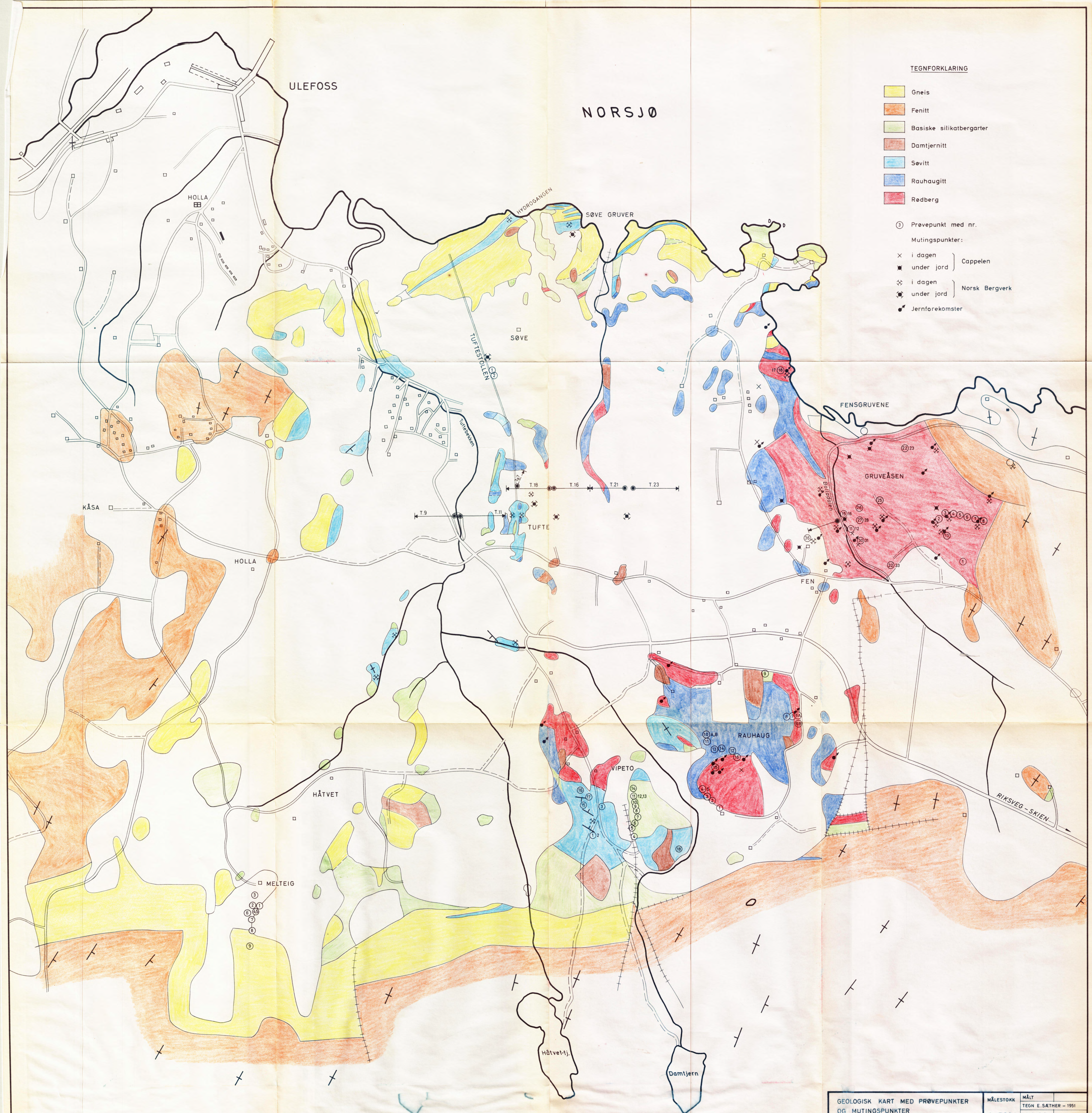
The last years' prospecting for niobium in different parts of the world has given new data on the petrology and mineralogy of the carbonatites. Especially in the inner parts of Africa, in Nigeria, Nyasaland and Tanganyika, many carbonatites similar to those of the Fen area have been subjected to extensive prospecting work. The mineral parageneses of these carbonatites are very similar. Small differences may be explained by the fact that the surface represents different depths in the various large alkaline rock bodies.

Fig. 32. Block diagram showing niobium ore deposit in the Cappelen mine. The diagrams along the diamond drill holes indicate the contents of Nb_2O_5 according to assays of the drill cores (varying from 0.1—1 %).

REFERENCES

(Fen area.)

- Bjorlykke, H.*, 1935. *Norwegische Mikrolithmineralien*. N.G.T. 14, p. 145.
- 1955. The niobium deposits at Søve, Southern Norway. *Mining Journal* (London), 224, p. 412.
- Bowen, N. L.*, 1924. The Fen Area in Telemark, Norway. *Am. J. of Science*, 8, p. 1.
- 1926. The Carbonate Rocks of the Fen Area in Norway. *Am J. of Science*, 12.
- 1926. Die Carbonatgesteine des Fen gebietes in Norwegen. *Centralblatt f. Min.* 1926, A, p. 241.
- Brauns, R.*, 1926. Primärer Calcit in Tiefengesteine oder Verdrängung der Silikate durch Calcit? *Centralblatt f. Min.* 1926, A, p. 1.
- Brøgger, W. C.*, 1921. Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. IV. Das Fengebiet in Telemark, Norwegen. *Vid.-Akad. Skr.* 1920, No. 9.
- Eckermann, H. von*, 1948. The Alkaline District of Alnø Island. S.G.U., Ser. Ca. 36. See also G.F.F. 64 (1942) and 68 (1946).
- Eckermann, H. von, & F. Wickmann*, 1956. A preliminary determination of the maximum age of the Alnø rocks. G.F.F. 78, p. 122.
- Faul, H., P. L. D. Eldmore and W. W. Brannock*, 1959. Age of the Fen carbonatite and its relation to the Oslo region (Norway). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 17, Nos. 1/2 August 1959.
- James, T. C. and Duncan McKie*, 1958. The alteration of pyrochlore to columbite in carbonatites in Tanganyika. *Min. Mag.* London. No. 242, p. 889.
- Sæther, E.*, 1947. Foreløpig meddelelse over undersøkelser i Fensfeltet. N.G.T. 27, p. 66.
- 1957. The Alkaline Rock Province of the Fen Area in Southern Norway. K.N.V. Skr. 1957, No. 1.



TEGNFORKLARING

- Gneis
- Fenitt
- Basiske silikatbergarter
- Damtjernitt
- Sevitt
- Rauhaugitt
- Redberg

- Prøvepunkt med nr.
- Mutingspunkter:
- × i dagen } Cappelen
- ✖ under jord }
- ⊗ i dagen } Norsk Bergverk
- ⊗ under jord }
- Jernforekomster

GEOLOGISK KART MED PRØVEPUNKTER OG MUTINGSPUNKTER FENSFELTET, ULEFOSS	MÅLESTOKK	MÅLT
	1: 5000	TEGN E. SÆTHER - 1951
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TRAC G.G.	JAN. 1968
	TEGNING NR.	776-01

SKIPPERVOLD
STI GR.
ØDEGAARDEN

1719

161

NEDRE HASLE



SADELMAGEREN GR.
DRUSE GR.
BOLVIG SK.
BOLVIG GR.

MORTENS GR.
ØVRE HASLE GR.
NYTT SK.
FENS Plass

KART OVER RØDHAUG
MED
MUTINGSMERKER SAMT
DAGÅPNINGER
SKALA 1:1000

LASTEBRYGGE

VASKERI
SPISEHUS
BADEHUS
KOMP. HUS
LABORATORIUM
STRANDSPASS

FØLGESVEND SØSTER

NYT HAAB

NIKODEMUS

KARUP GR.

BREIGANGEN

SVARTGANGEN

SKREDDER GR.

FORENINGEN

ANNE-KATRINE

NORDRE FEN

Dbh

BOLLADALEN

STRANDBÆK GR.

BERGERØD

S. GRINIMELLEM

N. GRINIMELLEM

VASKERI

SPISEHUS

BADEHUS

SMIE

RUSLAGANGEN

BRATLI GR.

KNUTS GR.

KRAAKEDOK GR.

TYSKLAND GR.

GL. AASE GR.

BERGMESTEREN

DIDERIK GR.

CHR. HEDEVIG GR.

MADAMEN GR.

DORHOLT GR.

HOV GR.

BRÅGANGEN

LAHAUG GR.

OVNS GR.

N. BRØHAUG GR.

S. BRØHAUG GR.

GRUBHAUGEN

BOLLA GR.

JOHS GR.

AASE SK.

NEBENGANGEN

KATTE GR.

STIGERBOLIG

GRUBEN

VASKER GR.

LICHTLOCH

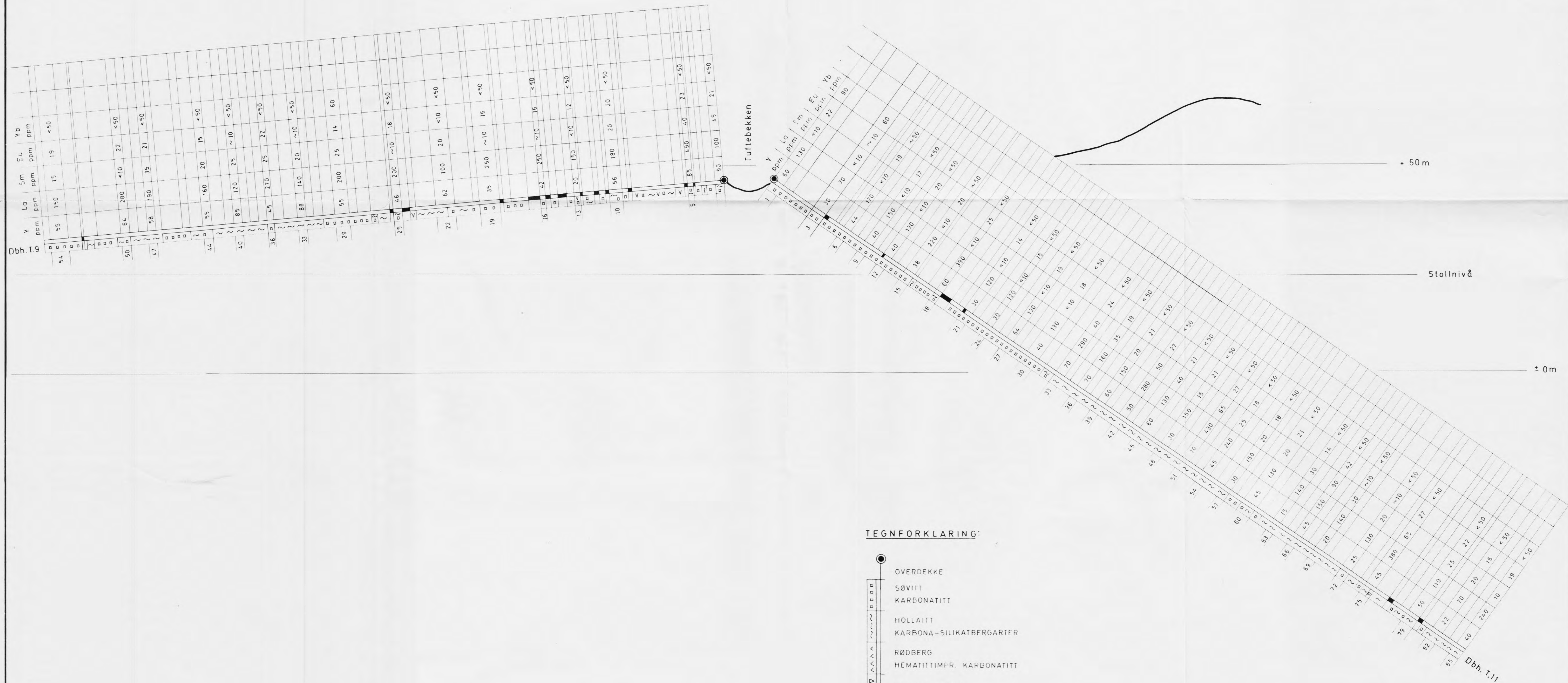
FEN

- TEGNFORKLARING
- Ⓢ Prove med nr.
 - Ⓞ Mutinger under dagen
 - ⊗ Mutinger over dagen
 - Orange Dagåpning
 - Green Grunnstolnivå

OVERSIKT OVER FENGRUBENE, ULEFOSS	MÅLESTOKK 1:1000	MÅLT TEGN O'Fengs Mai 1928 TRAC KFR. Sv Sv
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 776-02	



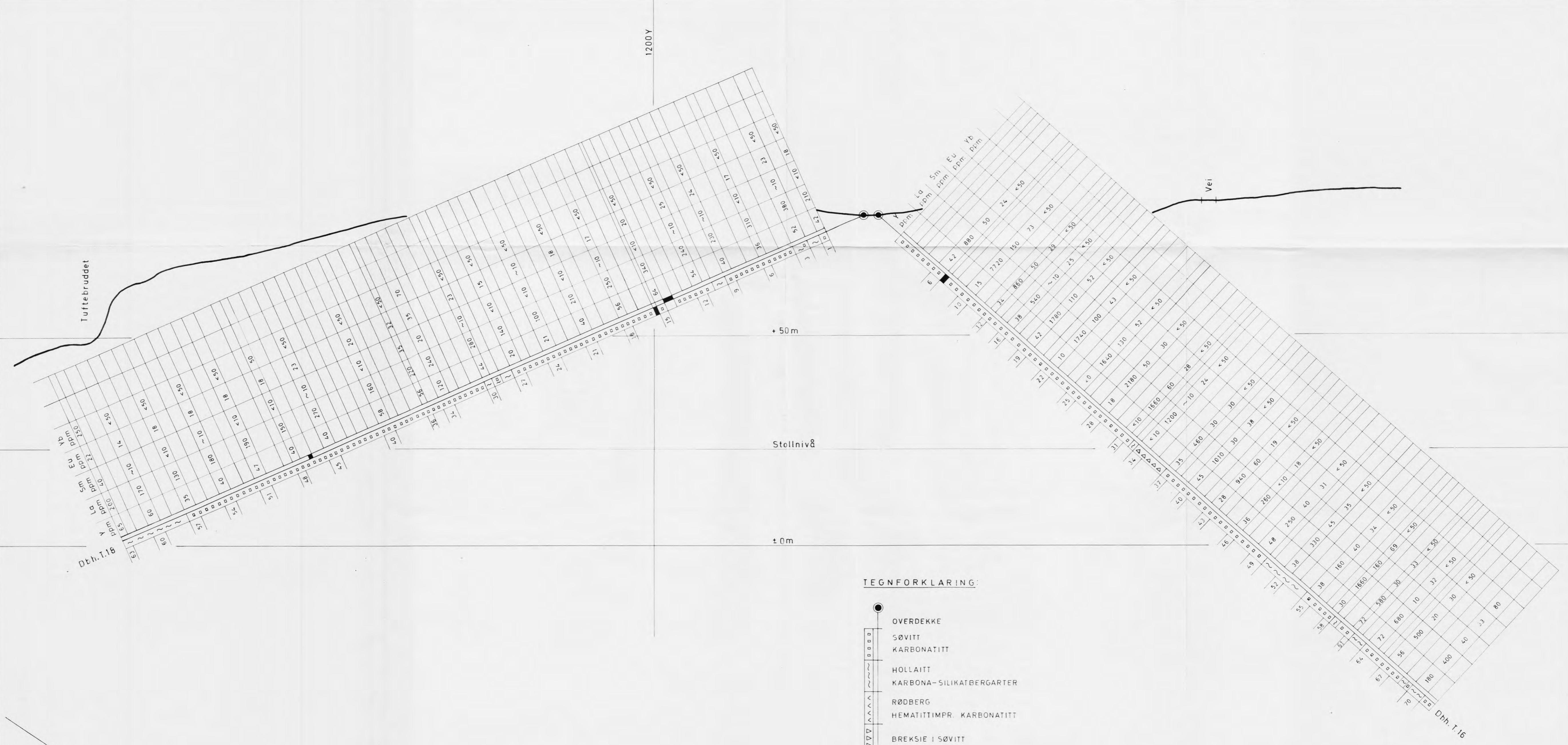
LENGDEPROFIL N-S	MÅLESTOKK	MÅLT
	1:500	TEGN J. KLEVER FEB. 1926
STORGRUBEN, ULEFOSS	TRAC	HP JAN. 1968
	KFR	Sv Sv
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	776-03



TEGNFORKLARING:

-  OVERDEKKE
-  SØVITT
-  KARBONATITT
-  HOLLAITT
-  KARBONA-SILIKATBERGARTER
-  RØDBERG
-  HEMATITTIMFR. KARBONATITT
-  BREKSIE I SØVITT
-  DIABAS
-  KJERNETAP

FORSKNINGSGRUPPEN FOR SJELDNE JORDARTER PROFIL 15 FENSFELTET, ULEFOSS	MÅLESTOKK	MÅLT	
	1: 500	TEGN SvSv	DES-67
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	776-04		JAN-68

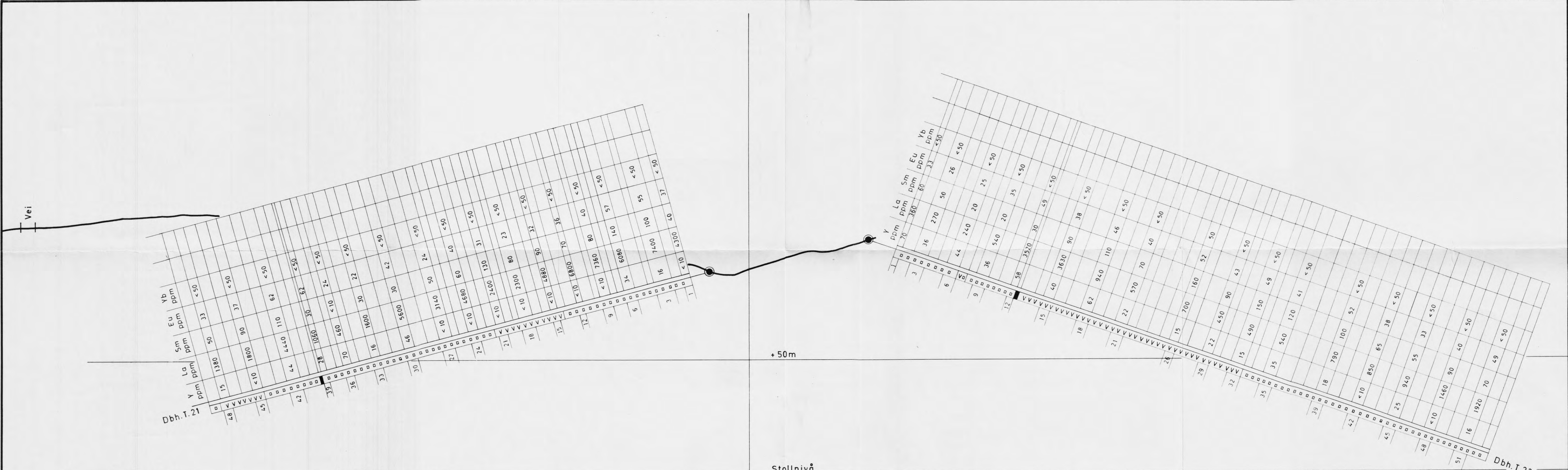


TEGNFORKLARING:

- OVERDEKKE
- SØVITT
- KARBONATITT
- ~ HOLLAITT
- ~ KARBONA-SILIKATBERGARTER
- ~ RØDBERG
- ~ HEMATITIMPR. KARBONATITT
- ▽ BREKSIE I SØVITT
- DIABAS
- KJERNETAP

FORSKNINGSGRUPPEN FOR SJELDNE JORDARTER PROFIL T2 FENSFELTET, ULEFOSS	MÅLESTOKK	MÅLT	
	1 : 500	TEGN. Sv.Sv	DES-67
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KFR. Sv.Sv	JAN-68
	776-05	KARTBLAD NR.	

Ddh. T.11



+ 50m

Stollnivå

± 0m

TEGNFORKLARING:

-  OVERDEKKE
-  SØVITT
-  KARBONATITT
-  HOLLAITT
-  KARBONA-SILIKATBERGARTER
-  RØDBERG
-  HEMATITTIMPR. KARBONATITT
-  BREKSIE I SØVITT
-  DIABAS
-  KJERNETAP

Dbh. T.18

FORSKNINGSGRUPPEN FOR SJELDNE JORDARTER	MÅLESTOKK	MÅLT	
	1:500	TEGN. Sv.Sv.	DES -67
PROFIL T2		TRAC. TH.	JAN. 68
FENSFELTET, ULEFOSS		KFR. Sv.Sv.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	776-06		