

PL 044
PL 044

D-28'

Denne rapport
tilhører

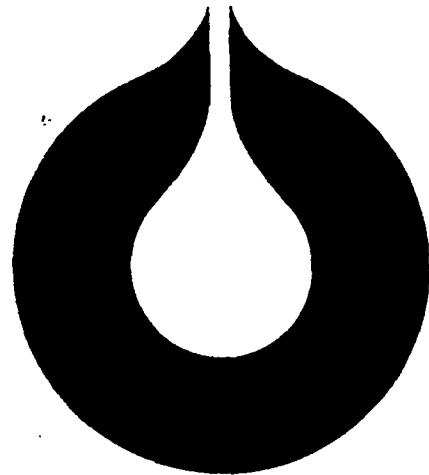


LTEK DOK.SENTER

L.NR. 20086440022

KODE Well 1/9-6 nr 34

Returneres etter bruk



statoil

Seksjon for Petrologi, GEOLAB

Rapport nr. 86.40

GECKEMISKE KERNELOGGER GENNEM EKOFISK- OG

TOR FORMATIONERNE I BRØND 1/9-6,

TOMMELITEN FELTET

Oktober 1986

Den norske stats oljeselskap a.s

Seksjon for Petrologi, GEOLAB

Rapport nr. 86.40

GECKEMISKE KERNELOGGER GENNEM EKOFISK- OG

TOR FORMATIONERNE I BRØND 1/9-6,

TOMMELITEN FELTET

Oktober 1986

SEKTOR FOR PETROLEUMSTEKNOLOGI

Rapport nr. 86.40
GEOLAB
Kopi nr.
Antall kopier 6


GEOLOGISK
LABORATORIUM

Gradering

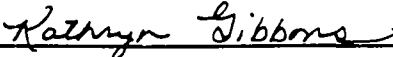
Tittel GEOKEMISKE KERNELOGGER GENNEM EKOFISK- OG TOR FORMATIONERNE I BRØND 1/9-6, TOMMELITEN FELTET		
Oppdragsgiver Erik Broe Nielsen, RESGEO	Prosjekt Kvantifisering/Karakteris. Kridt	
Dato	Antall sider 25	Antall vedlegg

Stikkord GEOKEMISKE KERNE-ANALYSER, XRF, TOMMELITEN, BRØND 1/9-6, EKOFISK-, TOR FORMATION, RESERVOIR ZONERING
--

Kort sammendrag Denne rapport inneholder geokemiske røntgenfluorescens (XRF) data for 94 kerneprøver fra brønd 1/9-6 gjennom kalkstens reservoiret i Tommelitenfeltet. Analyse metoden beskrives, usikkerhederne vurderes og de kemiske data diskuteres ud fra plot mod dyb sammen med wireline gamma-ray loggen. Både Tor og Ekofisk formationerne og reservoirets zonerung kan erkendes og beskrives ud fra de geokemiske logger, som i tillæg kan fortolkes rent mineralogisk. Ved produktions borerne på Tommeliten kan Geolab tilbyde et billigt, hurtigt & effektivt værktøj til reservoir beskrivelse ved fremstilling af geokemiske logger ud fra kerner, sidevægskerner eller cuttings.
--

Utarbeidet av Anders Rehkopff 
Tekstoperater Anders Rehkopff

Godkjent av

27/10-86 

Kathryn Gibbons, seksjonsleder

27/10-86 

Snorre Olaussen, avdelingsleder

INDHOLD

	Side
LISTE OVER FIGURER, TABELLER OG APPENDIX	2
KONKLUSIONER	3
1 INDLEDNING	4
2 ANALYSEMETODE	5
2.1 Indledning	
2.2 Prøvepreparering	
2.3 Syntetiske standarder	
2.4 Analysering	
2.5 Kalibrering	
3 USIKKERHEDER	9
3.1 Indledning	
3.2 Præcision	
3.3 Nøjagtighed	
4 ANALYSERESULTATER	12
4.1 Præsentation af data	
4.2 Mineralogisk tolkning	
4.3 Kvarts-norm	
5 AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER	19
6 REFERENCER	20
APPENDIX 1 - 3	21

2 figurer, 6 Tabeller

LISTE OVER FIGURER, TABELLER OG APPENDIX

FIGURER

		Side
1	Lokalisering af Brønd 1/9-6	4
2	XRF-data plottet mod dyb	13

TABELLER

1	Kemisk sammensætningsfelt udspændt af de syntetiske standarder	7
2	Instrumentel præcision	10
3	Prøvefremstillingens reproducerbarhed	10
4	Kemiske gennemsnits analyser for de enkelte reservoir zoner	14
5	Kemisk korrelations matrix, Ekofisk fm.	14
6	Skematiseret mineralogisk tolkning	15

APPENDIX

1	Syntetiske karbonat standarder	21
2	Sammenligning af ukorrigerede og influens korrigerede analyse data	23
3	XRF-data fra brønd 1/9-6	24

KONKLUSIONER

- (1) Kerneloggene for SiO₂, Al₂O₃, K₂O og Fe₂O₃ i brønd 1/9-6 viser et næsten kongruent forløb, og samtlige logger afspejler grænsen mellem Tor og Ekofisk fm. samt reservoir zonerne E1 - E4 i Ekofisk fm.
- (2) Tor formationen er kemisk homogen og karakteriseres ved lave indhold af SiO₂, Al₂O₃, K₂O, MnO og Fe₂O₃; Ekofisk formationen er i modsætning hertil kemisk heterogen og har et relativt højt indhold af disse oxider. Parvis er reservoir zonerne E1 og E3 samt E2 og E4 i Ekofisk formationen geokemisk ens.
- (3) De geokemiske data kan fortolkes mineralogisk: SiO₂, Al₂O₃ og K₂O beskriver kollektivt indholdet af kvarts, illit og andre lerminerale, mens de lave koncentrationer af MnO og MgO implicit definerer karbonat-fasen som ren kalcit. Mængden af fri kvarts i de undersøgte prøver er beregnet ud fra de kemiske analyser og viser variationer analogt med SiO₂.
- (4) XRF-analyse af 94 kerneprøver fra Tommeliten brønd 1/9-6 viser klart at bjergartskemiske data udgør et stærkt redskab til beskrivelse af et kalkstens reservoir. Efter indhøstning af geokemisk erfaring fra de eksisterende Tommeliten kerner vil GEOLAB i forbindelse med de igangsatte produktions boringer på Tommeliten kunne tilbyde et billigt, hurtigt og effektivt værktøj til reservoir beskrivelse ved fremstilling af geokemiske logger ud fra kerner, sidevægskerner eller cuttings.
- (5) Hos Seksjon for Petrologi, GEOLAB, eksisterer nu rutiner for XRF-analyse af SiO₂, Al₂O₃, K₂O, MnO, Fe₂O₃ og MgO i kalksten. Metoden har en høj præcision, mens analyse nøjagtigheden endnu ikke kan dokumenteres.

1 INDLEDNING

Våren 1986 modtog Seksjon for Petrologi, GEOLAB, en forespørgsel fra Erik Broe Nielsen, RESGEO, om hvorvidt seksjonen var i stand til at udføre kemiske analyser på kalksten. Baggrunden herfor var den hastigt intensiverede geologiske indsats på Tommeliten i forbindelse med udbygningen af dette felt.

I modsætning til almindelig praksis valgte vi at anvende Røntgenfluorescens Analyse (XRF) på kalkstenene, og efter nogle pilotanalyser blev det besluttet at analysere ca. 100 kerneprøver fra Tommeliten brønd 1/9-6 (fig.1) som led i FoU-prosjektet "Kvantificering/Karakterisering Kridt", der udføres i samarbejde med konsulenter fra GEOLAB, Århus, Danmark; projektets formål er at opbygge reservoir geologisk kompetance på kalkstensfelt indenfor PETEK. Siden er Seksjon for Petrologi tillige blevet involveret i XRF-analyse af kerneprøver fra Tommeliten brøndene 1/9-1 og 1/9-4, hvoraf analysering af sidstnævnte pågår i øjeblikket.

Skønt Kridt-projektet omfatter detaljeret, kvalitativ/kvantitativ petrografi- og SEM-arbejde, indeholder de kemiske data en væsentlig, supplerende information om kalkstenenes mineralogi; det geokemiske program på de eksisterende Tommeliten brønde vil således i første omgang bidrage med yderligere data til beskrivelsen af reservoiret og dets zoner samt til korreleringen mellem brøndene. Det endelige mål med projektet er imidlertid at høste en bred erfaring om Tommeliten reservoirets kemi og mineralogi, således at vi med de geokemiske logger alene - fra kerner, sidevægskerner eller cuttings - kan tilbyde et billigt, hurtigt og effektivt redskab til beskrivelse og korrelering af reservoiret i forbindelse med den allerede påbegyndte boring af produktionsbrøndene.

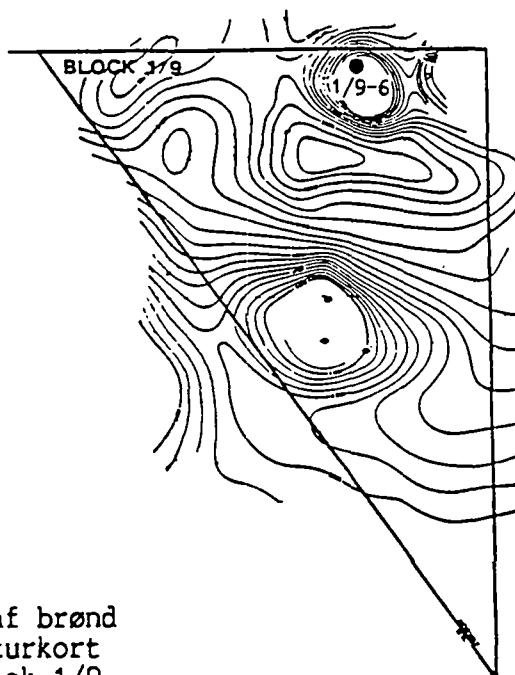


Fig.1: Lokalisering af brønd 1/9-6 på dybde strukturkort (top Ekofisk) over blok 1/9.

2 ANALYSEMETODE

2.1 Indledning

De undersøgte kerneprøver fra brønn 1/9-6 er analyseret for SiO₂, Al₂O₃, K₂O, MnO, Fe₂O₃ og MgO ved Røntgenfluorescens Analyse (XRF). Analyseringen er forestået af I. Hervik, Seksjon for Petrologi, GEOLAB.

I princippet omfatter XRF røntgenbestråling af prøven, hvorved alle grundstoffer i prøven eksiteres til et højere energiniveau; ved de-eksitering udsender hvert grundstof stråling med en karakteristisk energi (fluorescens), og intensiteten af denne stråling anvendes som mål for mængden af det pågældende grundstof i prøven. Metoden kalibreres ved analyse af standarder med kendt kemisk sammensætning.

Som analysepreparat anvendes glastabletter fremstillet ud fra finknust prøve blandet med en smelteflux. Der analyseres på "tør basis": resultaterne korrigeres for glødetab (volatiler) efter analyse.

Analyse resultaterne for de enkelte grundstoffer er bestemt som oxid vægt-%; total-jern er bestemt som Fe₂O₃.

Da bjergartskemiske analyser af kalksten ofte udføres ved atomabsorptions analyse (f.eks. Jørgensen, 1986), er det væsentligt her at understrege forskellen mellem denne metode og XRF-metoden: mens analyser ved atomabsorption ofte fokuserer på karbonat-fasens sammensætning ved kun at analysere de syreopløselige komponenter, angiver kemiske XRF-data altid den kemiske sammensætning af hele prøven. XRF-data giver således mulighed for en mineralogisk tolkning af både kalkstenenes karbonat- og silikat-faser.

I det følgende gives en beskrivelse af analyseproceduren.

2.2 Prøvepreparering

Udtagning af kernemateriale til petrografi, SEM- og XRF-analyse er foretaget af de externe konsulenter på prosjektet. Fra XRF-materialet er herefter udtaget 20-30 g prøve ved hjælp af stensav. Disse prøver er taget som gennemgående stave på tværs af eventuelle planare strukturer i bjergarten; hvor prøverne bestod af flere stykker er bidrag fra alle stykker udtaget. Efter savning er prøverne skyllet rene for saveslam.

Prøverne er herefter knust i svingmølle (2.5 min), homogeniseret, tørret (110 C) og glødet ved 950 C for beregning af glødetab.

Glastabletterne er fremstillet ved 1250 C ud fra forglødet prøve blandet med tørret smelteflux således at forholdet mellem prøve og flux i de færdige tabletter er 1:9. Som flux er anvendt Spectroflux 100 (Dilithium tetraborat).

2.3 Syntetiske standarder

Da internationale XRF-standarder af karbonat bjergarter er fåtallige, er analyserne kalibreret mod syntetiske standarder fremstillet ud fra rene oxider (SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , Fe_2O_3 , MgO , KHCO_3 og CaCO_3). Før brug er KHCO_3 og CaCO_3 dehydreret ved 450 C og de øvrige oxider forglødet ved 850 C. Der er fremstillet 34 glastabletter ud fra 20 forskellige oxid-blandinger. Det kemiske sammensætnings-felt udspændt af disse standarder er angivet i Tabel 1 og sammensætningen af de enkelte standard-blandinger før og efter glødning er angivet i Appendix 1.

TABEL 1

DET KEMISKE SAMMENSETNINGSFELT UDSPÆNDT
AF DE ANVENDTE SYNTETISKE STANDARDER.

	PROCENT
SI02	0.017 - 24.592
AL203	0.013 - 4.933
K2O	0.010 - 3.676
MNO	0.015 - 2.141
FE203	0.010 - 0.778
MGO	0.011 - 3.934
ØVRIGE MATRIX: CAO & CO2	

2.4 Analysering

Analyseringen er udført på GEOLAB's Philips PW 1400 vinkeldispersive røntgenspektrometer under samme analyse-betingelser som anvendes ved analyse af sandsten (Rehkopff, 1984). Talletiden for måling af de enkelte oxider er imidlertid hævet betragteligt for at sikre en god "talletalsstatistik" i de lave koncentrations niveauer som oxiderne tilhører i mange af de undersøgte kalksten; det anvendte måleprogram bruger således ca. 65 minutter pr. prøve.

2.5 Kalibrering

Med henblik på kalibrering er de syntetiske standarder analyseret, og der er etableret en funktionel sammenhæng mellem røntgen-intensitet og element-koncentration ud fra disse data. Inden for Tommeliten kalkstenenes kemiske sammensætningsfelt er denne relation tilnærmelsesvis lineær, hvilket afspejler at kvaliteten af de syntetiske standarder er tilfredsstillende samt at kemiske matrixeffekter er små. En undtagelse fra dette gælder K2O, hvor spredningen af datapunkter er noget større end ved de øvrige elementer; dette skyldes sandsynligvis reaktion mellem porcelænsdiglernes emalje og oxid blandingerne under glødning af standarderne.

Resultaterne fra brønn 1/9-6 er ikke korrigeret for matrix effekter (interelement influens), hvilket som nævnt ovenfor kun har lille betydning. Dette er illustreret i Appendix 2, hvor henholdsvis ukorrigerede og influens-korrigerede analyse resultater er angivet for nogle kemisk forskellige prøver fra brønn 1/9-6. Det ses her, at der for SiO₂-værdier større end ca. 20% er signifikante afvigelser mellem korrigerede og ukorrigerede SiO₂-data og at disse afvigelser vokser med stigende SiO₂, mens forskellene ved de øvrige oxider er betydningsløse. Ved rapportering af fremtidige XRF-data for kalksten vil disse imidlertid være influens-korrigerede.

3 USIKKERHEDER

3.1 Indledning

Ved en vurdering af analyse-usikkerheder skelnes mellem begreberne præcision og nøjagtighed. Præcisionen af en måling er graden af overensstemmelse mellem gentagne målinger af samme prøve (reproducerbarheden), mens nøjagtigheden er et mål for analyseresultatets overensstemmelse med den "sande" værdi. En stor nøjagtighed forudsætter således en stor præcision, mens en stor præcision ikke nødvendigvis medfører en stor nøjagtighed.

3.2 Præcision

Forudsættes korrekte analysebetingelser, er præcisionen afhængig af

- (1) Prøvefremstillingens reproducerbarhed
- (2) Spektrometrets stabilitet
- (3) Fejlen på talletallene

Fejlen på talletallene, betinget af at produktionen af røntgenfotoner er en tilfældig proces, skal ikke kommenteres her, idet talletiderne er overdimensioneret så denne fejl med få undtagelser er $< 0.5\%$ for samtlige målinger i det undersøgte materiale.

Spektrometrets stabilitet (geometri, elektronik & højspænding) er undersøgt ved gentagen analyse af en glastablet, 3467.30 m (B), og den observerede præcision er angivet i Tabel 2. Det ses her at reproducerbarheden ved selve målefasen er yderst tilfredsstillende.

Reproducerbarheden ved selve prøvefremstillingen er undersøgt ved analyse af 6 forskellige glastabletter A - F fremstillet ud fra samme prøve, 3467.30m; resultaterne af disse analyser er angivet i Tabel 3. Ved vurdering af disse data skal det erindres, at Tabel 3 udtrykker den kumulerede fejl fra både prøvefremstilling og spektrometermåling.

TABEL 2

XRF: INSTRUMENTEL PRÆCISION OBSERVERET
VED GENTAGNE MÅLINGER AF SiO_2 , Al_2O_3 ,
 K_2O , MnO , Fe_2O_3 OG MgO PÅ GLASTABLET
3467.30 m (B) FRA BRØNN 1/9-6

	<u>GNS.</u>	<u>VAR.</u>	<u>STD.DEV.</u>
SiO_2	17.43	17.41 - 17.46	0.016
Al_2O_3	1.46	1.46 - 1.47	0.005
K_2O	0.10	-	0.000
MnO	0.31	-	0.000
Fe_2O_3	0.99	-	0.000
MgO	0.50	0.47 - 0.53	0.015
			N=15

TABEL 3

REPRODUCERBARHEDEN VED FREMSTILLING AF
GLASTABLETTER TIL XRF ANALYSE ILLUSTRERET
VED ANALYSE AF 6 GLASTABLETTER PREPARERET
AF PRØVE 3467.30 m FRA BRØNN 1/9-6.

	<u>GNS.</u>	<u>VAR.</u>	<u>STD.DEV.</u>
SiO_2	17.35	17.10 - 17.77	0.232
Al_2O_3	1.46	1.45 - 1.48	0.010
K_2O	0.10	0.10 - 0.11	0.005
MnO	0.31	0.30 - 0.31	0.005
Fe_2O_3	0.96	0.94 - 0.98	0.017
MgO	0.47	0.42 - 0.51	0.033
			N=6

Ud fra Tabel 3 blev det besluttet kun at fremstille een glastablet af hver kerneprøve fra brønn 1/9-1; imidlertid er der som en løbende kvalitetskontrol fremstillet 2 glastabletter af hver 10. af de undersøgte prøver.

3.3 Nøjagtighed

For øjeblikket er GEOLAB ikke i besiddelse af pålidelige standarder af kalksten, hvorfor nogen eksakt angivelse af analysernes nøjagtighed ikke kan gives; vi påregner imidlertid at kunne angive nøjagtigheden ved rapportering af XRF-data for de øvrige brønde fra Tommeliten feltet.

4 ANALYSERESULTATER

4.1 Præsentation af data

De kemiske data for de undersøgte 94 kerneprøver fra brønd 1/9-6 er angivet i Appendix 3 og desuden plottet mod dyb sammen med wireline gamma-ray log i fig. 2; i denne figur er desuden angivet grænsen mellem Tor og Ekofisk formationerne samt reservoir zoneringsen (Statoil, 1986).

På basis af fig. 2 noteres følgende for de undersøgte kerneprøver fra brønd 1/9-6:

- (1) Loggene for SiO₂, Al₂O₃, K₂O og Fe₂O₃ viser et næsten kongruent forløb. Dette fremgår også af korrelationsmatricen i Tabel 5, hvor der for prøverne fra Ekofisk formationen ses en indbyrdes god positiv korrelation mellem SiO₂, Al₂O₃, K₂O og tildels også Fe₂O₃.
- (2) Samtlige logge afspejler på glimrende vis både grænsen mellem Ekofisk og Tor formationerne samt reservoir zoneringsen E1 - E4 i Ekofisk formationen.
- (3) De geokemiske logger parallelliserer i store træk forløbet af wireline gamma-ray loggen, idet forhøjede udslag på denne log generelt modsvares af et øget oxidindhold i prøverne.

I Tabel 4 er angivet det gennemsnitlige oxidindhold i de enkelte reservoir zoner. Ud fra denne tabel samt fig. 2 ses følgende:

- (1) Tor formationen står i stærk kontrast til Ekofisk formationens bjergarter ved sin geokemisk set meget homogene opbygning karakteriseret ved lave indhold af SiO₂, Al₂O₃, K₂O, MnO og Fe₂O₃. Det er ikke rent geokemisk muligt at erkende reservoir zoneringsen T1 og T2.
- (2) Ekofisk formationen er geokemisk heterogen og har gennemsnitligt et relativt højt indhold af SiO₂, Al₂O₃, K₂O, MnO og Fe₂O₃. Reservoirzoneringsen er geokemisk signifikant bestående af fire enheder E1-E4, der parvis er geokemisk ens: E1 og E3 har relativt set lave til intermediære oxid-indhold, mens E2 og E4 er reservoir bjergarter med højest indhold af de analyserede oxider.
- (3) Gennemsnitlig har de enkelte reservoirzoner næsten identiske MgO-indhold; derimod er variationsmønstrene for MgO forskellige i de tre reservoir-typer.

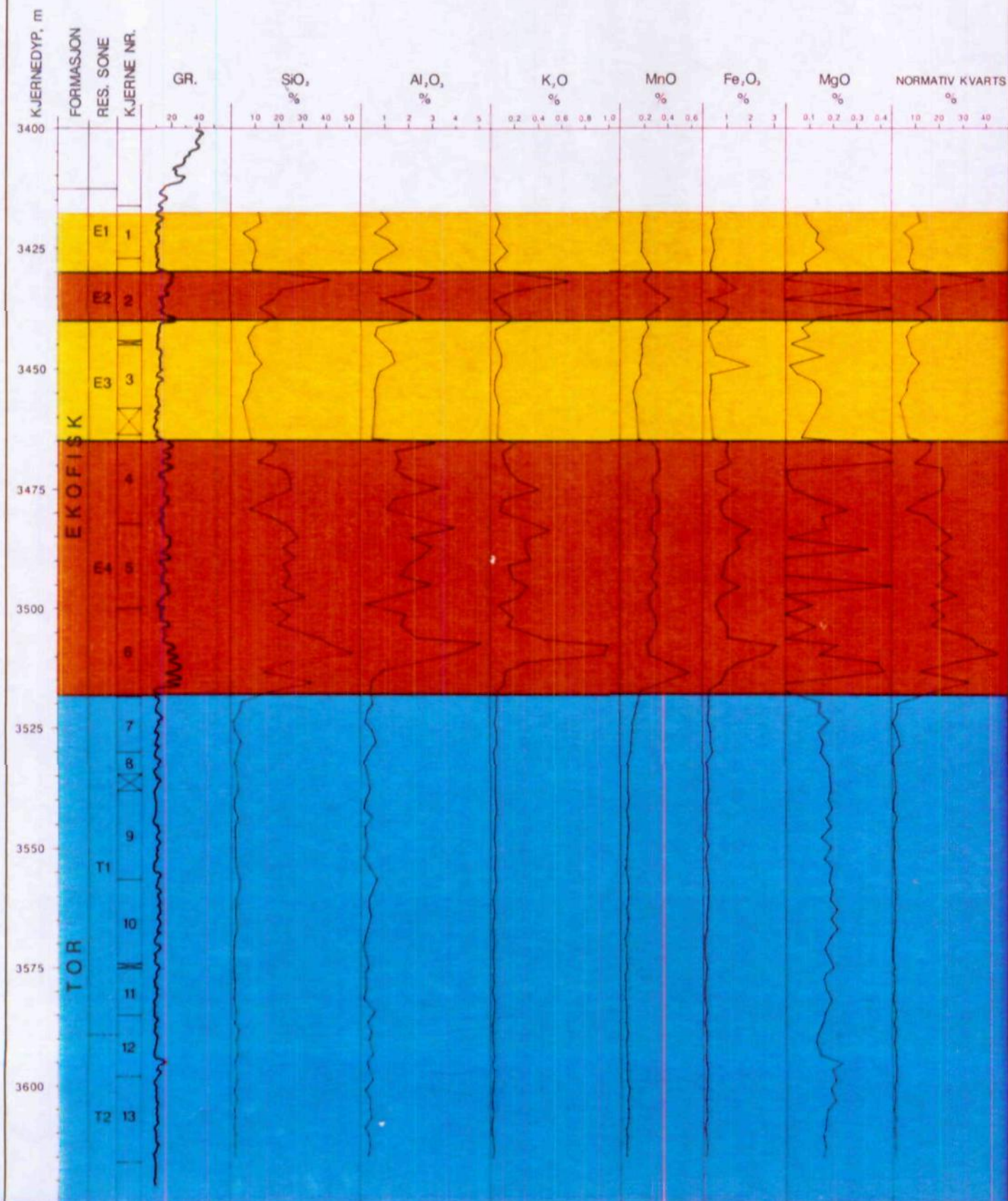
Fig. 2: XRF-data og normativ kvarts (A)
plottet mod dyb sammen med wireline
gamma-ray log for de undersøgte kalksten
fra brønd 1/9-6. Kernedyb er antaget at
være lig logdyb.

BRØNN 1/9-6

TOMMELITEN FELTET

GEOKJEMISKE KJERNELOGGER

(XRF - DATA)



TABEL 4

GENNEMSNITLIG KEMISK SAMMENSETNING AF KALKSTEN
I DE ENKELTE RESERVOIR ZONER, BRØND 1/9-6

P R O C E N T

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MnO	Fe ₂ O ₃	MgO
E1 (N=7)	9.39	0.95	0.06	0.20	0.39	0.11
E2 (N=5)	22.80	2.21	0.24	0.28	0.94	0.18
E3 (N=9)	8.22	0.78	0.04	0.16	0.52	0.11
E4 (N=27)	23.92	2.11	0.27	0.29	1.13	0.17
T1+T2 (N=46)	1.64	0.31	0.02	0.06	0.15	0.18

N er antal prøver

TABEL 5

KEMISK KORRELATIONSMATRIX FOR 47 ANALYSER
AF KALKSTEN FRA EKOFISK FM., BRØND 1/9-6

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃
SiO ₂	1.0000	.7313	.8573	-.1651	.2604	.6597
Al ₂ O ₃		1.0000	.8741	.1944	.1412	.8403
K ₂ O			1.0000	.0373	.0873	.8196
MgO				1.0000	.3540	.3200
MnO					1.0000	.2304
Fe ₂ O ₃						1.0000

4.2 Mineralogisk tolkning

Værdien af geokemiske data forøges væsentligt hvis disse kan fortolkes rent mineralogisk. For de undersøgte prøver fra brønd 1/9-6 gælder at de analyserede oxider indeholder den væsentligste information om kalkstenenes mineralogi, skønt summen af disse oxider sjældent overstiger 25-30%. Dette skyldes at de resterende kemiske komponenter domineres af CaO og CO₂ bundet i mineralet calcit.

TABEL 6

SKEMATISERET MINERALOGISK TOLKNING AF KEMISK
HOVEDELEMENT ANALYSE AF TOMMELITEN KALKSTEN

	<u>OXID</u>	<u>MINERAL</u>
	* SiO ₂ :	kvarts, lerminerale
	* Al ₂ O ₃ :	lerminerale
	* K ₂ O:	illit
	* MnO:	karbonat-fase
	* Fe ₂ O ₃ :	karbonat-fase, pyrit, smectit
	* MgO:	karbonat-fase, smectit
	CaO:	karbonat-fase
	P ₂ O ₅ :	apatit/fosforit
	TiO ₂ :	lerminerale
	* CO ₂ :	karbonat-fase, hydrokarboner
L	*	
O	* SO ₂ :	sulfider (pyrit)
I	*	
	* H ₂ O:	lerminerale, hydrokarboner

* ANALYSERET OXID

I Tabel 6 er angivet i hvilke mineraler de enkelte oxider tolkes at være bundet; mineralselskabet er simpelt og udgøres af en karbonat-fase samt kvarts, lerminerale og pyrit. De analyserede oxider giver et godt indblik i denne mineralogi, idet karbonat-fasen beskrives implicit ved MgO, MnO og tildels Fe₂O₃. Imidlertid gives ingen information om apatit, sulfider/oxider eller hydrokarboner: CO₂, SO₂ og H₂O er kun bestemt kollektivt som et glødetab, mens P₂O₅ ikke er analyseret.

Idet mineralselskabet ikke antages at indeholde feldspater, må Al₂O₃ udelukkende være bundet i lermineraller, og Al₂O₃ er således et direkte mål for bjergarternes totale indhold af kaolinit, illit og smectit. Da K₂O tolkes udelukkende at være bundet i illit, er dette oxid et direkte mål for bjergarternes totale indhold af dette mineral; vurderet i forhold til Al₂O₃, vil K₂O desuden indirekte sige noget om bjergartens indhold af kaolinit plus smectit.

Lerminerallerne og kvarts udgør kalkstenenes silikater, og prøvernes SiO₂ er således tildels bundet i lermineraller sammen med Al₂O₃ og K₂O, mens et overskud af SiO₂ i forhold til de to øvrige oxider vil findes som frit silica. Vurderet samlet indeholder SiO₂, Al₂O₃ og K₂O således information om kalkstenenes indhold af frit silica.

Bjergarternes karbonat-fase er helt domineret af CaCO₃, og Fe₂O₃ og MgO kan dels substituere for CaO i kalcit-gitteret og dels være bundet i lermineralet smectit. Imidlertid kan Fe₂O₃ også være bundet i sulfidet pyrit. MnO antages udelukkende at være bundet i karbonat-fasen.

Ved at betragte korrelationen mellem de enkelte oxider (Tabel 5) kan den mineralogiske tolkning gøres mere eksplicit:

Den stærke positive korrelation mellem K₂O og Al₂O₃ kan ses i lyset af at disse oxider begge er bundet i illit. Dette harmonerer imidlertid ikke med det faktum, at forholdet mellem Al₂O₃ og K₂O i alle de undersøgte prøver er så stort, at hovedparten af kalkstenenes Al₂O₃ er bundet i andre lermineraller end illit.

I de undersøgte prøver er SiO₂-indholdet generelt meget større end indholdet af K₂O og Al₂O₃, hvilket umiddelbart viser at hovedparten af bjergarternes SiO₂ er til stede i form af frit silica. Ud fra et mineralogisk synspunkt kan den stærke positive korrelation mellem både SiO₂, Al₂O₃ og K₂O derfor virke overraskende.

Ud fra ovenstående betragtninger må korrelationen mellem SiO₂, Al₂O₃ og K₂O således tolkes derhen, at identiske fysiokemiske betingelser har favoriseret akkumulationen af både frit silica og lermineraller i sedimentet.

Fe₂O₃ viser en god positiv korrelation med både Al₂O₃ og K₂O. Dette tolkes som tegn på at Fe₂O₃ ikke er knyttet til bjergarternes karbonat-fase, men er knyttet til lerminerallerne eller en sulfid-fase.

Analogt hermed tolkes den manglende korrelation mellem MnO og MgO og de øvrige, ikke-karbonatbundne oxider som tegn på at MnO og MgO udelukkende er bundet til karbonat-fasen som substituerende elementer i kalcit-gitteret.

Ud fra omstændige kan vi således også fortolke fig. 2 rent mineralogisk:

- (1) Tor formationen er mineralogisk set homogent opbygget og domineres af en karbonat-fase plus underordnede indslag af kvarts (gns. 1.3%) og lermineraller; mineralogisk er det ikke muligt at erkende nogen reservoir zoner.
- (2) Ekofisk formationen er mineralogisk heterogen og består foruden karbonater af en relativ stor mængde kvarts og lermineraller. Reservoir zoneringsen er mineralogisk signifikant og består af fire enheder E1-E4, der er parvis ens: E1 og E3 har lavt til intermediært indhold af kvarts og lermineraller, mens E2 og E4 har et noget højere indhold af disse.
- (3) Karbonat-fasen i samtlige reservoir zoner er kalcit med kun lille substitution i gitteret: MgO udgør gennemsnitlig < 0.3% og MnO gennemsnitlig < 0.4% af denne fase i samtlige zoner.

4.3 Kvarts norm

Som det allerede er blevet antydnet i forrige afsnit, er det ofte muligt ud fra oxidernes indbyrdes forhold at bedømme hvorvidt en given mineralfase er til stede i bjergarten eller ej. Det blev således fastslået, at frit silika er til stede, hvilket også gælder lermineralet illit. Ydermere blev der argumenteret for, at hovedparten af bjergarnes Al₂O₃ indgår i en anden lermineralfase end illit. Disse betragtninger forudsætter selvfølgelig et empirisk eller aktuelt kendskab til bjergarternes kvalitative mineralogi.

Vi har i forlængelse af ovenstående etableret en kvarts-norm for de analyserede kalksten, d.v.s. kvantificeret mængden af frit silica i prøverne ud fra de kemiske analyser. Filosofien har været enkel: Det er antaget (1) at kvarts og lermineraller er de eneste tilstedeværende silikater, (2) at al bjergartens K₂O er bundet i illit og at (3) de resterende lermineraller enten er smectit eller kaolinit. Da der ikke har foreligget data om den kemiske sammensætning af bjergarternes aktuelle lermineraller, har vi valgt "intermediære" sammensætninger for illit ($y=1.25$) og smectit (gennemsnit af pyrophyllit, montmorillonit og beidellit) (Deer et al., 1974, p. 266 - 279).

Den normative kvarts er herefter beregnet som "bjergartens SiO₂ minus den mængde SiO₂ nødvendig for at binde al K₂O i illit minus den mængde SiO₂ som er nødvendig for at binde bjergartens resterende Al₂O₃ i smectit/kaolinit".

Fra tidligere XRD-analyser af tilsvarende bjergarter vides den gennemsnitlige fordeling af lermineraller at være 60-80% smectit, 10-40% illit og 5% kaolinit (Nielsen, pers.komm.); i den her præsenterede norm har vi imidlertid udelukkende

ladet prøvernes indhold af K2O bestemme mængden af normativ illit. Med hensyn til de resterende lermineraller er der skelnet mellem to tilfælde: (A) kun smectit dannes og (B) kun kaolinit dannes; de 5% kaolinit har ingen betydning set på baggrund af de forsimplinger som normen bygger på iøvrigt. Norm A opfylder således groft set de betingelser som den ovenfor angivne gennemsnitlige fordeling af lermineraller giver, mens norm B er ment som et supplement for de tilfælde, hvor kalkstenene vides at være domineret af styloliter, som angiveligt består af kaolinit. De reducerede udtryk for kvarts-normen A og B er

$$\text{KVARTS(A)} = \text{SiO}_2 - 4.46 \text{ K2O} - 0.59 \text{ Al}_2\text{O}_3 \quad \%$$

$$\text{KVARTS(B)} = \text{SiO}_2 - 1.66 \text{ K2O} - 1.18 \text{ Al}_2\text{O}_3 \quad \%$$

Værdierne for disse to normer for de analyserede prøver fra brønd 1/9-6 er angivet i Appendix 3, og KVARTS(A) er desuden plottet mod dyb i fig. 1. Det fremgår her, at alle de analyserede prøver er kvarts-normative og at KVARTS(A) med få undtagelser er lidt større end KVARTS(B). Ligeledes ses som forventet en stærk positiv korrelation mellem SiO₂ og A og B, med korrelations koefficienter på hhv. 0.9936 og 0.9944.

5 AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER

Som nævnt indledningsvis er XRF-analyse af kerneprøver fra brøndene 1/9-1 og 1/9-4 allerede i gang, ligesom vi forventer at blive involveret i arbejdet med produktions brøndene på Tommeliten feltet. Rent analytisk vil der ske mindre justeringer fremover med henblik på at rationalisere og forbedre proceduren, og vi vil ligeledes fokusere nærmere på tolkningen af disse data. Her vil vi især prøve at simplificere kvarts-normen til mere generelt gyldige antagelser og desuden prøve at kvantificere kalkstenenes indhold af lerminerale. Hvis nøjagtigere kvantitative mineralogiske data findes påkrævet, er det nærliggende at konstruere en norm baseret på eksakte mineralogiske analyser (XRD, SEM, STA) af et udvalg af kalksten fra feltet.

Skønt den kvantitative mineralogiske tolkning således kan forfines, besidder XRF-analyserne som direkte kernedata en vital reservoir geologisk information, som ikke kan sidestilles med andre indirekte målinger som f.eks. wireline logger. XRF-analyserne udgør en solid basis for evaluering, justering og kontrol af logger, petrofysiske kernemålinger og reservoir tekniske modeller og er tillige et vægtigt supplerende værktøj ved tolkning af reservoirets dannelse.

6 REFERENCER

Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J., 1966: An Introduction to the Rock Forming Minerals. Longman, London, 528 p.

Jørgensen, N.O., 1986: Chemostratigraphy of Upper Cretaceous Chalk in the Danish Subbasin. AAPG Bullitin, V.70, No.3, p. 309-317.

Rehkopff, A., 1984: GEOLAB's XRF-anlæg: Kalibrering og Analysering. Status juni 1984. Intern rapport, GEOLAB (15p).

Statoil, 1986: Tommeliten Fields: Attachment to Field Development Plan, Vol. 1: Geological and Geophysical Evaluation.

APPENDIX 1: SYNTETISKE KARBONAT STANDARDER

P R O C E N T

STANDARD	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	K ₂ O	CaO	CO ₂	SUM
ST 0.01§	0.017	0.013	0.017	0.011	0.010	55.990	43.943	100.000
LOI-cor.	0.030	0.023	0.030	0.019	0.018	99.880		100.000
ST 0.03	0.050	0.030	0.030	0.030	0.039	55.919	43.901	100.000
LOI-cor.	0.089	0.054	0.054	0.054	0.070	99.682		100.001
ST 0.05	0.174	0.055	0.055	0.055	0.060	55.792	43.811	100.000
LOI-cor.	0.309	0.097	0.097	0.097	0.105	99.294		99.999
ST 0.10	0.110	0.114	0.105	0.105	0.120	55.688	43.758	100.000
LOI-cor.	0.195	0.204	0.186	0.186	0.214	99.014		99.998
ST 0.25	0.301	0.277	0.363	0.264	0.359	55.060	43.376	100.000
LOI-cor.	0.532	0.489	0.641	0.467	0.633	97.236		99.998
ST 0.50	0.503	0.503	0.545	0.515	0.546	54.424	42.965	100.000
LOI-cor.	0.881	0.881	0.956	0.903	0.958	95.421		100.000
ST 0.75	0.787	0.762	0.812	0.755	0.863	53.575	42.447	100.000
LOI-cor.	1.367	1.324	1.410	1.311	1.499	93.087		99.999
ST 1.00	0.982	0.963	2.141	1.015	1.022	52.332	41.545	100.000
LOI-cor.	1.681	1.648	3.662	1.737	1.748	89.524		99.999
ST 2.00	2.082	2.126	1.019	2.006	1.972	50.357	40.439	100.000
LOI-cor.	3.495	3.569	1.711	3.368	3.310	84.544		99.997
ST 3.00	3.053	2.990	1.475	2.907	3.308	47.469	38.797	100.000
LOI-cor.	4.989	4.885	2.411	4.749	5.405	77.560		99.999
ST 5.00	4.910	4.933	0.079	3.934	1.600	46.952	37.593	100.000
LOI-cor.	7.868	7.904	0.126	6.304	2.563	75.235		100.001
ST 10	9.912	4.600	0.158	0.165	0.161	47.586	37.419	100.000
LOI-cor.	15.838	7.350	0.252	0.264	0.258	76.08		99.999
ST 15	14.993	0.282	0.032	0.037	0.019	47.417	37.219	100.000
LOI-cor.	23.882	0.449	0.052	0.060	0.030	75.525		99.997
ST 25	24.592	0.039	0.015	0.344	3.676	39.007	32.328	100.000
LOI-cor.	36.340	0.058	0.022	0.508	5.431	57.640		99.999

§ Første linie angiver den reelle kemiske sammensætning i den ubehandlede prøve.

Den anden linie angiver sammensætningen af prøven efter glødning; denne kemiske sammensætning indlæses til kalibreringsligningen.

Standarderne er fremstillet af 4.500g spektroflux 100 + glødetab og 0.5000g forglødet oxid blanding, juni 1986.

APPENDIX 1, fortsat:

P R O C E N T

STANDARD	SiO2	K2O	Fe2O3	CaO	CO2	SUM
FEK 0.01§	1.043	0.017	0.010	55.426	43.504	100.000
LOI-cor.	1.846	0.030	0.018	98.106		100.000
FEK 0.05	1.669	0.056	0.052	55.020	43.203	100.000
LOI-cor.	2.939	0.098	0.092	96.871		100.000
FEK 0.10	1.447	0.102	0.112	55.073	43.266	100.000
LOI-cor.	2.550	0.180	0.198	97.073		100.000
FEK 0.25	1.257	0.254	0.243	54.981	43.265	100.000
LOI-cor.	2.215	0.447	0.428	96.909		100.000
FEK 0.50	1.014	0.505	0.496	54.769	43.216	100.000
LOI-cor.	1.786	0.890	0.873	96.451		100.000
FEK 0.75	1.113	0.759	0.778	54.347	43.004	100.000
LOI-cor.	1.952	1.331	1.365	95.352		100.000

§ Første linie angiver den reelle kemiske sammensætning i den ubehandlede prøve.

Den anden linie angiver sammensætningen af prøven efter glødning; denne kemiske sammensætning indlæses til kalibreringsligningen.

Standarderne er fremstillet af 4.5000g spektroflux 100 + glødetab og 0.5000g forglødet oxid blanding, juli 1986.

APPENDIX 2

SAMMENLIGNING AF UKORRIGEREDE OG INFLUENSKORRIGEREDE
KEMISKE XRF-ANALYSER AF PRØVER FRA BRØND 1/9-6

	3491.18 m		3601.48 m	
	UKORR	KORR	UKORR	KORR
SiO ₂ (%)	22.34	21.91	0.79	0.78
Al ₂ O ₃	2.03	2.06	0.17	0.17
K ₂ O	0.15	0.15	0.01	0.02
MnO	0.29	0.25	0.07	0.07
Fe ₂ O ₃	0.88	0.87	0.13	0.13
MgO	0.00	0.01	0.19	0.23

	3513.65 m		3507.80 m	
	UKORR	KORR	UKORR	KORR
SiO ₂ (%)	13.94	13.78	41.46	39.34
Al ₂ O ₃	0.86	0.88	5.11	5.01
K ₂ O	0.12	0.12	1.05	0.92
MnO	0.57	0.56	0.22	0.11
Fe ₂ O ₃	0.98	1.00	3.12	3.17
MgO	0.43	0.48	0.27	0.28

UKORR: Analyserne blot kalibreret ved lineær regression af standarddata (dette arbejde).

KORR : Analyserne kalibreret ved lineær regression af standarddata og korrigeret for matrixeffekter ved hjælp af teoretisk beregnede alfa-faktorer.

P R O C E N T

KERNEDYB	SiO2	Al2O3	K2O	MnO	Fe2O3	MgO	KTS(A)	KTS(B)	RES
3417.60	11.44	0.91	0.04	0.19	0.42	0.08	10.72	10.30	E1
3419.40	12.30	1.22	0.07	0.18	0.46	0.10	11.27	10.74	E1
3421.70	5.58	0.61	0.04	0.18	0.31	0.14	5.04	4.79	E1
3423.50	9.46	1.21	0.08	0.18	0.40	0.13	8.39	7.90	E1
3425.25*	10.22	1.53	0.13	0.18	0.49	0.16	8.74	8.21	E1
3427.80	8.11	0.66	0.03	0.23	0.34	0.08	7.59	7.28	E1
3429.38	8.64	0.54	0.05	0.25	0.32	0.09	8.10	7.92	E1
3431.52	43.54	3.13	0.66	0.21	0.88	0.00	38.75	39.49	E2
3433.57	22.29	2.82	0.22	0.29	1.45	0.32	19.65	18.60	E2
3435.44	17.41	0.85	0.04	0.41	0.44	0.00	16.73	16.34	E2
3437.50	12.22	1.70	0.09	0.31	1.11	0.46	10.82	10.06	E2
3439.44	18.55	2.54	0.17	0.20	0.82	0.14	16.29	15.27	E2
3441.40	9.05	0.68	0.03	0.23	0.32	0.07	8.52	8.20	E3
3443.78	6.81	0.53	0.03	0.19	0.23	0.10	6.36	6.13	E3
3446.85*	9.52	1.32	0.08	0.17	0.55	0.21	8.38	7.91	E3
3448.85	12.46	1.40	0.08	0.16	1.98	0.03	11.28	10.68	E3
3450.80	9.20	0.76	0.03	0.16	0.26	0.05	8.60	8.25	E3
3452.44	7.83	0.67	0.02	0.13	0.33	0.12	7.35	7.01	E3
3454.62	6.86	0.59	0.02	0.11	0.31	0.15	6.42	6.13	E3
3456.94	4.41	0.61	0.03	0.12	0.29	0.15	3.92	3.64	E3
3464.35	7.84	0.48	0.04	0.13	0.41	0.07	7.38	7.21	E3
3465.42	19.03	3.11	0.20	0.27	1.08	0.36	16.30	15.03	E4
3467.30S	17.35	1.46	0.10	0.31	0.96	0.47	16.04	15.46	E4
3469.30	11.47	1.66	0.11	0.31	1.14	0.47	10.00	9.33	E4
3471.25	22.59	1.47	0.14	0.32	0.54	0.00	21.10	20.62	E4
3473.28*	24.25	2.06	0.23	0.27	0.54	0.01	22.00	21.44	E4
3475.15	24.96	3.28	0.39	0.27	1.43	0.04	21.29	20.44	E4
3477.20	15.29	1.44	0.11	0.32	0.79	0.18	13.95	13.41	E4
3479.32	8.09	1.19	0.07	0.32	0.74	0.31	7.08	6.57	E4
3480.86	17.13	2.09	0.22	0.27	0.92	0.16	14.92	14.30	E4
3483.30	24.85	3.98	0.48	0.26	1.99	0.17	20.36	19.36	E4
3485.53	27.96	2.19	0.31	0.29	1.41	0.02	25.29	24.86	E4
3487.42	22.13	3.02	0.29	0.28	1.52	0.35	19.05	18.09	E4
3489.52	27.23	2.56	0.32	0.27	1.04	0.00	24.29	23.68	E4
3491.18	22.34	2.03	0.15	0.29	0.88	0.00	20.47	19.70	E4
3493.30*	25.32	1.68	0.18	0.26	0.75	0.00	23.53	23.05	E4
3495.50	22.22	2.98	0.31	0.30	1.51	0.46	19.08	18.19	E4
3497.64	30.64	1.73	0.22	0.24	0.71	0.00	28.64	28.23	E4
3499.40	17.56	0.23	0.05	0.23	0.51	0.11	17.20	17.21	E4
3501.76	24.08	1.77	0.18	0.29	0.67	0.00	22.23	21.69	E4
3503.76	19.36	1.98	0.13	0.30	1.03	0.13	17.61	16.81	E4
3506.55	37.89	2.34	0.46	0.25	1.01	0.00	34.46	34.37	E4
3507.80	41.46	5.11	1.05	0.22	3.12	0.27	31.67	33.69	E4
3509.76	51.52	4.08	0.95	0.24	2.73	0.15	44.88	45.13	E4
3511.48*	25.24	1.90	0.31	0.38	1.52	0.39	22.66	22.41	E4
3513.65	13.94	0.86	0.12	0.57	0.98	0.43	12.90	12.73	E4
3515.75	33.29	0.45	0.10	0.32	0.68	0.00	32.58	32.59	E4
3517.70	18.62	0.44	0.05	0.17	0.27	0.00	18.14	18.02	E4
3520.10	3.87	0.48	0.03	0.13	0.23	0.15	3.45	3.25	T1
3521.96	3.34	0.27	0.03	0.11	0.17	0.14	3.05	2.97	T1
3524.06	1.41	0.17	0.02	0.10	0.19	0.18	1.22	1.18	T1

APPENDIX 3, fortsat

DYP(M)	SiO2	Al2O3	K2O	MnO	Fe2O3	MgO	KTS(A)	KTS(B)	RES
3526.17	2.86	0.46	0.03	0.10	0.26	0.14	2.45	2.27	T1
3528.45	4.00	0.59	0.04	0.09	0.26	0.16	3.47	3.24	T1
3530.63	1.95	0.36	0.02	0.08	0.36	0.15	1.65	1.49	T1
3532.80*	1.32	0.20	0.03	0.06	0.13	0.18	1.07	1.03	T1
3538.49	2.55	0.35	0.03	0.05	0.17	0.19	2.21	2.09	T1
3540.05	1.10	0.18	0.03	0.05	0.12	0.18	0.86	0.84	T1
3542.26	0.82	0.12	0.03	0.04	0.11	0.19	0.62	0.63	T1
3544.17	2.05	0.37	0.02	0.05	0.15	0.17	1.74	1.58	T1
3546.04	1.24	0.16	0.02	0.06	0.12	0.19	1.06	1.03	T1
3548.22	0.90	0.14	0.01	0.05	0.11	0.15	0.77	0.72	T1
3550.14	1.32	0.23	0.02	0.05	0.14	0.19	1.10	1.02	T1
3552.36	0.59	0.09	0.02	0.04	0.10	0.16	0.45	0.45	T1
3554.50	1.64	0.36	0.02	0.05	0.14	0.20	1.34	1.18	T1
3557.20*	2.27	0.64	0.03	0.06	0.19	0.18	1.76	1.47	T1
3558.80	2.25	0.52	0.02	0.06	0.21	0.20	1.85	1.60	T1
3561.00	1.70	0.35	0.02	0.06	0.17	0.19	1.40	1.25	T1
3563.00	1.62	0.31	0.01	0.05	0.17	0.22	1.39	1.24	T1
3565.03	1.78	0.40	0.02	0.06	0.14	0.19	1.45	1.27	T1
3567.35	1.67	0.31	0.01	0.05	0.15	0.22	1.44	1.29	T1
3569.20	0.94	0.17	0.01	0.04	0.10	0.19	0.80	0.76	T1
3571.31	0.76	0.12	0.01	0.04	0.09	0.17	0.64	0.60	T1
3573.45	0.78	0.23	0.01	0.05	0.10	0.19	0.60	0.49	T1
3575.55*	1.09	0.26	0.01	0.05	0.14	0.20	0.89	0.77	T1
3576.53	0.71	0.14	0.01	0.04	0.11	0.17	0.58	0.53	T1
3578.25	0.96	0.18	0.01	0.04	0.10	0.16	0.81	0.73	T1
3580.27	1.18	0.23	0.01	0.04	0.12	0.17	1.00	0.89	T1
3582.16	0.38	0.08	0.02	0.04	0.09	0.19	0.24	0.25	T1
3584.80	2.06	0.58	0.02	0.05	0.16	0.17	1.63	1.34	T1
3587.10	1.52	0.31	0.01	0.05	0.12	0.16	1.29	1.14	T1
3589.06	2.39	0.43	0.01	0.06	0.16	0.14	2.09	1.87	T2
3591.10	1.40	0.35	0.01	0.05	0.15	0.13	1.15	0.97	T2
3593.35	2.02	0.48	0.01	0.06	0.15	0.15	1.69	1.44	T2
3595.63	1.74	0.29	0.01	0.06	0.14	0.24	1.52	1.38	T2
3597.20*	2.00	0.33	0.02	0.05	0.14	0.20	1.72	1.58	T2
3599.40	2.09	0.55	0.02	0.06	0.15	0.21	1.68	1.41	T2
3601.48	0.79	0.17	0.01	0.07	0.13	0.19	0.65	0.57	T2
3603.52	1.92	0.40	0.01	0.06	0.15	0.21	1.64	1.43	T2
3605.55	1.40	0.37	0.02	0.06	0.14	0.18	1.09	0.93	T2
3607.65	1.56	0.46	0.01	0.06	0.13	0.17	1.24	1.00	T2
3609.65	0.86	0.18	0.01	0.05	0.10	0.17	0.71	0.63	T2
3611.23	1.59	0.36	0.01	0.05	0.12	0.16	1.33	1.15	T2
3613.45	1.53	0.43	0.02	0.05	0.18	0.17	1.19	0.99	T2
3615.35	1.44	0.28	0.01	0.05	0.11	0.16	1.23	1.09	T2

* Dobbeltbestemmelse § Gns. af 6 analyser

RES: Reservoir zone

KTS: Normativ kvarts-%

KALIBRERING: CA0786

ANALYSERING: I. HERVIK, Seksjon for Petrologi