

# Spektral analyse

## - olie, gas og vand i reservoirkerneprøver

Af geolog Jørgen Rheinländer og Poul Erik Porse, InnospeXion ApS.

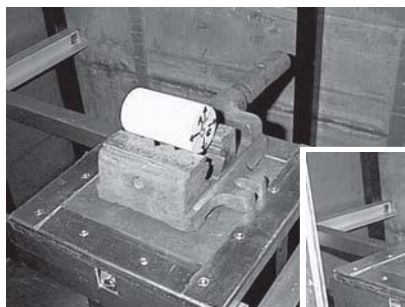
Spektral analyse er en metode, hvor man ved røntgenstråler hurtigt og nøjagtigt kan analysere borekerners indhold af olie, gas og vand i reservoirbjergarter, hvilket har stor betydning i olieindustrien.

Kendskabet til den tredimensionale struktur af borekerneprøver er et vigtigt element i modelleringen og forståelsen af strømning og udvinding af olie. Destruktiv analyse baseret på prøveudtagning og tyndslib er en velkendt, men langsommelig og arbejdskrævende metode. Derfor har ikke-destruktive metoder vundet indpas i de seneste 20 år bl.a. i form af Computer Tomografi (CT) skanninger. CT er en røntgenafbildningsmetode, som giver et eller flere billedesnit, hvor i prøvens strukturer beskrives relativt entydigt. Metoden anvendes især af olie-selskaber til undersøgelse af borekerner.

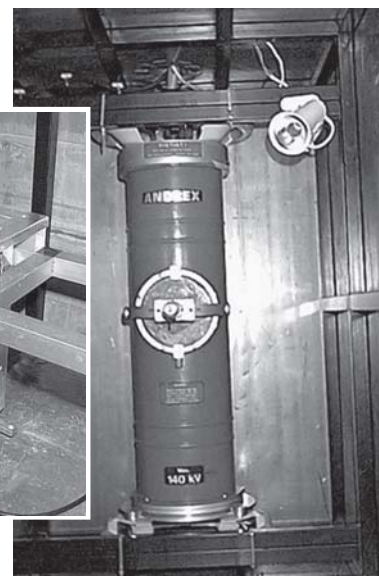
### Spektral analyse

I olieeftersøgningen anvender man borekerner, der er mættede med en blanding af vand, olie og gas, og som udsættes for forskellige tryk og temperaturer. Man ønsker bl.a., at være i stand til at bestemme indholdet af olie, gas og vand i bjergartens porer hurtigt og med en præcision på 1%.

Til den type undersøgelser er CT dog uegnet, da metoden er for langsom og unøjagtig. I stedet kan man anvende spektral



Ovenfor ses en borekerne i kalksten placeret over en energi-dispersiv detektor. Det midterste billede viser den energi-dispersive detektor i en særskilt blyafskærmning med blydæksel. På billedet længst til højre ses et 60 cm langt røntgenrør i en blyafskærmet boks. Rørets diameter er 18 cm. (Fotos: InnospeXion)



analyse på det røntgenspektrum som kommer igennem borekernen.

Spektral analyse på forskellige typer reservoirbjergarter under varierende betingelser udføres bl.a. af firmaet InnospeXion, som også deltager i et udviklingsprojekt omkring et automatisk borekerne-karakteriseringssystem.

### Princippet

Spektral analyse svarer næsten til det tandlægen gør, når han skal røntgenfotografere en tand. Forskellen er, at man ikke tager et billede, men i stedet måler på den stråling,

der passerer igennem en prøve.

Fra et røntgenapparat gennemlyses prøven af røntgenstråler med forskellige bølgelængder. På vej gennem prøven dæmpes strålerne på forskellig vis af grundstofferne og de forskellige lag i borekernen. Dæmpningen af røntgenstrålingen er afhængig af bølgelængden. Man taler om et røntgenspektrum, dvs. fordelingen af røntgenfotoner som funktion af bølgelængden eller dens tilsvarende energi. I modsætning til lægerne anvender man altså i spektral analyse den information, der ligger i røntgenspektrets dæmpning.

## EKSPERTER I JORD, VAND OG MILJØ

- Geotekniske undersøgelser
- Forureningsundersøgelser
- Hydrogeologiske undersøgelser
- Havbundsundersøgelser
- Kystsikring af sandstrande
- Grundvandsboringer til vandforsyninger
- Modellering af olie- og gasreservoirer
- Grundvandssænkingsanlæg
- Jordankre
- Oprensning af forurening

GEO

Geoteknisk Institut

GEO • Maglebjergvej 1 • P.O.Box 119 • DK-2800 Lyngby • Tlf: 4588 4444 • Fax: 4588 1240 • www.geoteknisk.dk

## Data opsamles og behandles real time.

Målemetodens følsomhed til måling af sandstensporøsitet er evalueret ved at foretage målinger på glas, da både glas og sand hovedsageligt består af  $\text{SiO}_2$ . En tyndere glasplade gør det ud for en sandsten med større porøsitet. Glaspladen er bestrålet med 60 KeV røntgenstråling og lav foton intensitet, dvs. en lille strålingsdosis.

Der er en meget klar forskel på de målte spektre. Med tyndere glas svarende til en højere porøsitet får man et væsentligt andet spektrum end ved tykkere glasplader. Forskellen i glastykkelsen giver en variation af røntgenspektrene, som svarer til ca. 10 % absolut porøsitet.

## Kvantitative undersøgelser af prøver

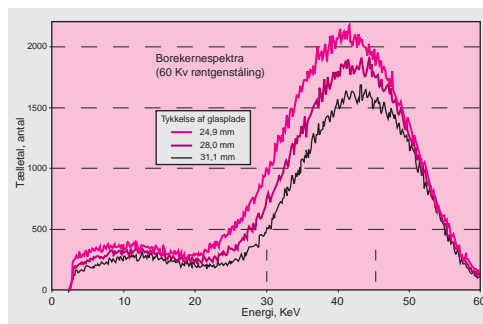
Borekerneprøver er cylindriske, så tykkelsen af prøven varierer med dens placering i forhold til strålingskilden og detektoren. For af fastholde det volumen, som spektret måles igennem, placerer man som regel en blyvæg med en spalte i foran detektoren.

En vigtig opgave i forbindelse med kvantitativ analyse er, at vælge den rigtige spaltestørrelse i forhold til strålingens maksimale energi og intensitet samt afstanden mellem strålingskilde og detektor og desuden at vurdere borekernens sammensætning af kalksten, sandsten og andre materialer. Borekerneprøver placeres ofte i særlige beholdere, der tillader forsøg med infiltration af væsker eller gasser.

De typiske opgaver ved røntgenspektral analyse af borekerner er, at måle den faktiske porøsitet, indholdet af olie, gas og vand i porer, herunder det relative indhold under forskellige betingelser, samt at registrere, hvorledes porenes indhold af olie, gas og vand ændrer sig ved forskellige tryk, temperaturer og infiltrationshastigheder.

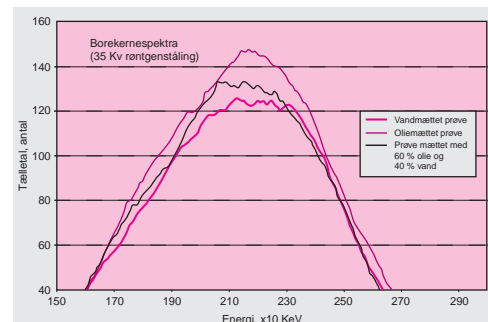
## Energiintervaller

For at udføre sådanne bestemmelser må man først fastlægge, hvilke energiintervaller, der skal anvendes til at skelne mellem de forskellige faser og forsøgstilstande. I eksemplet på figuren ovenfor er den maksimale kontrast, målt i antal fotoner der passerer igennem prøven, omkring 30 keV. Figuren viser, at fotonantallet for en 24,9 mm tynd  $\text{SiO}_2$ -glasplade er dobbelt så stort



*Eksempel på spektralmålinger for en borekerne med ca. 15% porøsitet, der er mættet med forskelligt olie- og vandindhold. (Grafik: TBT)*

*Spektra som viser følsomheden af spektral analysemetoden for forskellige tykkelser af  $\text{SiO}_2$ -glas ved 60 kV røntgenstråling. (Grafik: TBT)*



som for en 31,1 mm tyk glasplade. Derimod ses der for energier over ca. 45 keV næsten ingen forskel på de målte spektre.

## Praktisk brug af spektral analyse

InnospeXion har udført forsøg på borekerner af forskellige reservoirbjergarter med forskellig porøsitet og forskellig mætningsgrad af olie, gas og vand. Ved de indledende spektralbestemmelser centrerer borekernen i forhold til strålingen og detektoren vha. en laser.

På figuren ovenfor ses resultaterne af spektral analyser for en borekerne med 15 % porøsitet og et varierende indhold af olie og vand i porerne. Den øverste kurve er ren olie. Olie dæmper mindre end vand, så man får et højere tællelet i området 20-30 keV. Den mellemste graf er for samme prøve, men nu med en blanding af olie og vand i forholdet 3:2. Det ses, at målingen er lavere end for ren olie.

I praksis anvendes tællelet i et eller flere energibånd. Sammenholdningen af disse giver ophav til et antal ligninger med to eller flere ubekendte, der løses med et særligt program. Målingen foretages og resultatet beregnes indenfor 3-10 sekunder,

hvilket f.eks. tillader at en mætningsfront kan følges på dens vej igennem prøven. Nøjagtigheden af målingen afhænger især af tællelet. Ved optimale betingelser kan indholdet af vand og olie i porerne bestemmes med en nøjagtighed på 1%.

I modsætning til CT-scanninger er metodikken kvantitativ på hele det undersøgte volumen, og resultatet foreligger væsentligt hurtigere. Det tillader forsøg med en dynamisk påvirkning. Desuden er de væsentlige dele af udstyret beregnede til et industrielt miljø, med deraf følgende krav til pålidelighed og levetid. Endelig kan et røntgen spektralanalytisk udstyr betjenes uden større faglige forudsætninger.

## Andre anvendelser

Røntgenafbildning og spektralmåling kan ikke kun anvendes til studier af borekerner. Geologiske prøver er unikke, og beskrivelsen af dem kan planlægges ved at få et kendskab til deres struktur på ikke-destruktiv vis inden den tidskrævende prøvebearbejdning starter. Man kan f.eks. drage fordel af, at kende et malmlags udbredelse i en prøve, inden man laver slib eller andre prøver af den. Det samme gælder fossiler. ■

# InnospeXion

InnospeXion udfører inspektion og karakterisering af næsten alle former for prøver. Inspektionen baseres oftest på real time røntgenafbildning, og egner sig til måling og kvantificering af strukturelle elementer ned til få  $\mu\text{m}$ . Røntgenafbildningen er ikke-destruktiv og kræver ingen prøveforarbejdning.

Læs mere på [www.innospeXion.dk](http://www.innospeXion.dk)

SEISMOGRAFER, RESISTIVITETSSYSTEMER  
VLF ELEKTROMAGNETISK SYSTEM  
STØJ- OG VIBRATIONSMÅLEUDSTYR

FRA ABEM Instrument AB

# Dyno Nobel Danmark A/S

Telefon 43 45 15 38  
Homepage [www.dynonobel.dk](http://www.dynonobel.dk)