

Billedanalyse i geologien

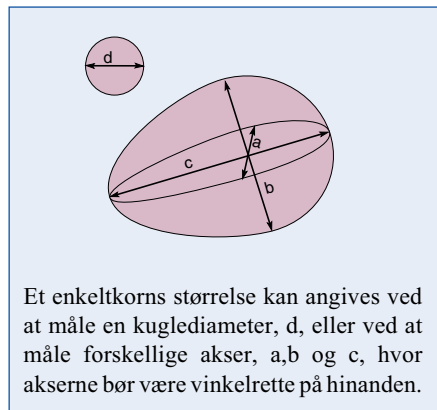
af geologerne Knud Thomsen og Peter Mikkelsen, Dimac.

Geologer bruger meget tid på at beskrive prøver på forskellig måde. Parametre som porøsitet, fordelingen af mineralkorn og kornstørrelse skal findes i et utal af prøver. Nu kan computeren overtage en del af beskrivelsesarbejdet ved hjælp af et billedanalyseprogram. Et par danske geologer er med i front af udviklingen og ser her nærmere på teknikken og mulighederne inden for geologien.

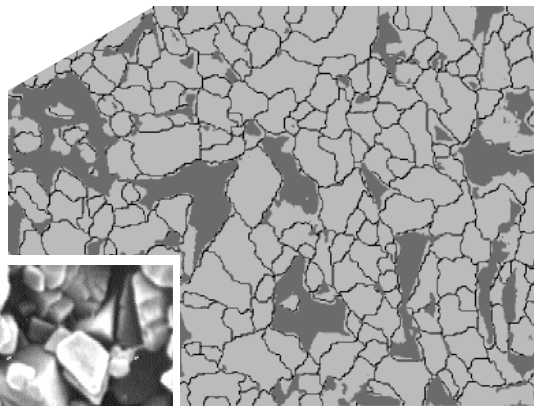
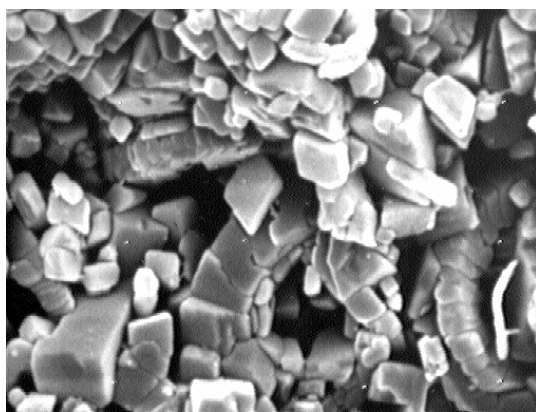
Et billedanalyseprogram består af en computer, der ved hjælp af et billedanalyseprogram "ser" og analyserer verden gennem et kamera eller en scanner. Billedanalyse vinder hastigt frem inden for proces- og kvalitetskontrol i industrien og er også et brugbart redskab for geologer. Selv om billedanalyse i gråtoner har været her i adskillige år, er det først for nyligt, at billedanalyse, der fuldt inddrager farverummet, er blevet mulig.

Kornstørrelsesanalyse

Som bekendt er der nogle generelle – generende, men interessante – metodeproblemer ved kornstørrelsesanalyse, og ved billedanalyse skal de særlige forudsætninger og problemer diskuteres. Sigteanalysen til bestemmelse af kornstørrelsesfordelingen kender de fleste geologer og ingeniører vel. Men det er ikke nemt at hæfte et entydigt størrelsesmål på det enkelte mineralkorn, som typisk udgør en



Et enkeltkorns størrelse kan angives ved at måle en kuglediameter, d , eller ved at måle forskellige akser, a , b og c , hvor akserne bør være vinkelrette på hinanden.



Figur 1. Brudflade af coccolith-kalk fra Dan-feltet i Nordsøen (tv). Det symbolske billede fra computeren præsenteres til højre med porer og korn i forskellige farver (grå-nuancer her i GeologiskNyt).

uregelmæssig rumlig form i 3 dimensioner. Prøv f.eks. at måle på strandsten ved hjælp af en lineal eller en skydelære. Almindelige billeder er heldigvis 2-dimensionelle, hvilket letter arbejdet umiddelbart, men det giver også anledning til systematiske fejl – mere herom senere.

Men hvad er et korn egentligt?

Der er givet tilfælde, hvor mange eller alle geologer kan blive enige om at trække korngrænserne på samme måde, men ofte er der i fladen ufuldstændige korngrænser, der kræver en vurdering. Et billedanalyseprogram kan naturligvis ikke måle sig med en geolog i sådanne spørgsmål, men det kan tilbyde anvendelsen af faste kriterier og dermed fuld reproducerbarhed i analyserne. I et billedanalyseprogram detekteres korngrænser ved hjælp af en række teknikker:

1) En klassisk, men i praksis ikke meget anvendelig metode er at knytte bestemte gråtoneintervaller til forskellige korntyper. Denne teknik benyttes stort set kun på visse simple to-fasesystemer.

2) En anden og mere brugbar metode er *edge detection*. Man kan trække korngrænserne langs de linjer i billedet hvor de største ændringer i gråtoner eller farver forekommer lokalt (kaldet *edge detection*)

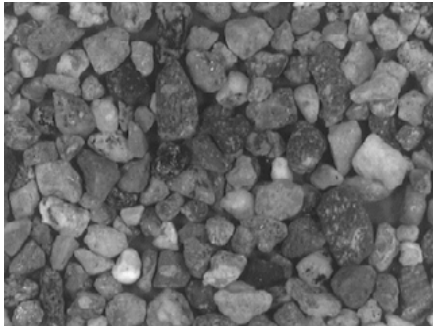
idet man samtidigt kræver, at alle grænser skal lukkes. Disse krav opfyldes af den såkaldte *vandskelsmetode*, hvor man opfatter billedet som et landskab, hvor f.eks. gråtonegradienten overalt opfattes som den topografiske højde. Dernæst forestiller man sig, at det regner, og de bassiner, vandet opsamles i, svarer til kornene i billedet!

På figur 1 ses en brudflade af coccolith-kridt fra Ekofisk-feltet i Nordsøen, hvorpå *vandskelsmetoden* er brugt. Systemet er først optrænet til at skelne porer fra korn. På kornene er korngrænser dannet ved hjælp af *vandskelsmetode*. Bemærk, at selvom der er fejl i detaljerne rundt omkring, er der ikke tvivl om, at partikel-fordelingen bliver ramt meget godt statistisk set.

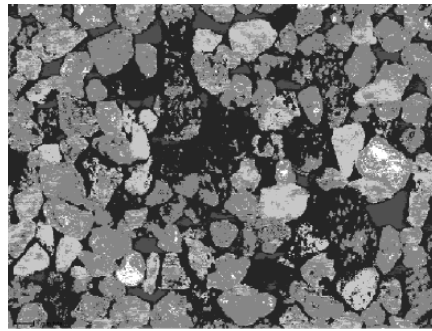
Der er vist originalbilledet, og det symbolske billede (porer og korn i forskellige farver) og resultatet af en kornstørrelsesanalyse. Programmet fremkom med følgende resultater af en kornstørrelsesanalyse:

Porøsitet i %	19,76
Middel-diameter i mm	1,09
Sortering	0,45

3) En tredje vigtig teknik – som kan anvendes alene eller kombineres med *vandskelsmetoden* – benytter et farverum til klassifikation af korntyper baseret på kornenes farve. På repræsentative billeder oplærer



Figur 2. Optagelse af fingrus under vand (tv). Ved en billedanalyse kan partiklerne grovsorteres automatisk efter deres mineralogiske tilhørsforhold (th).



bruger systemet til at genkende forskellige korn typer ved at trække musen hen over relevante korn og knytte en typebetegnelse til dem. Ud fra den derved tilførte viden om farvevariationen for de enkelte typer (generaliseret af programmet til en fuldstændig farvemodel) kan systemet nu opdele nye billeder i korn på grundlag af farverne i de enkelte pixels.

Hvad er et korns størrelse eller diameter?

Ved *ukonsoliderede materialer* vil karakteren af den anvendte separationsmetode være bestemmende for, hvilken diameter, der måles.

Ved *sigteanalysen* er det kornenes mulighed for at passere maskerne, der er afgørende, og man vil få diametre, der snarere udtrykker tværsnit end langaksler.

Ved *slemmeanalyse* er det sedimentationshastigheden for en partikel med den givne vægtfylde, volumen og formfaktor, der er afgørende, og man taler om en ækvivalent diameter, som er diameteren af en kvartskugle med samme sedimentationshastighed.

Ved *billedanalyse* er man normalt henvisning til at betragte en skrabet overflade, hvor nogle korn overlapper andre, der derved kommer til at se mindre ud, end de er. Problemet kan ikke elimineres, men begrænses ved, at man søger efter kornenes

tilsyneladende langaksler. Langakslen er nemlig det diametermål, der er mindst påvirket af, at kornene overlapper hinanden. Billedanalyse giver til gengæld specielle arbejdsmæssige fordele: Med et kompakt, transportabelt billedanalyse system kan man i felten rette kameraet mod en sedimentoverflade (silt, sand eller grus) og efter få sekunder har man størrelsefordelingen (på skærmen og i en database).

En tiltalende ide er at benytte billedanalyse alene eller som supplement til de tidkrævende sigteanalyser. Vi må også minde om, at billedanalyse også kan benyttes ved helt andre partikelfraktioneringer, f.eks. ved luftfotos af et stenstrøet landskab.

Ved *konsoliderede materialer* ser vi f.eks. på snitflader eller brudflader, og vi må regne med, at vi ser kornene i mere eller mindre tilfældige snitplaner. Dette er ikke noget problem, hvis man udelukkende er interesseret i arealprocenter (og dermed volumenprocenter) for de forskellige komponenter (minerale, faser) i materialet. Her vil en klassisk punkttælling kunne give svaret. Denne proces er i øvrigt ikke bare hurtigere at udføre med et billedanalyse system, men også mere nøjagtig, idet alle punkter i billedet (pixels) medregnes.

Erfaringer fra den medicinske verden

Ønsker man en vurdering af kornenes middelvolumen (middeldiameter), advarer teoretikerne - de såkaldte stereologer - os mod forhastede konklusioner: Hvordan slutter man fra 2 til 3 dimensioner?

Diciplinen New Stereology har i dag næsten universel udbredelse inden for den medicinske verden og er praktisk udviklet af professor Jørgen Gundersen fra Århus. Ifølge denne lære er det muligt at få et skøn på middeldiameter og en tilhørende usikkerhed uden statistisk bias. Metoden er oprindeligt udformet til manuelle målinger og involverer måling af kornkorder ud fra et regelmæssigt punktnet, efterfulgt af specielle beregninger. Metoden er særdeles velegnet til automatisk billedanalyse.

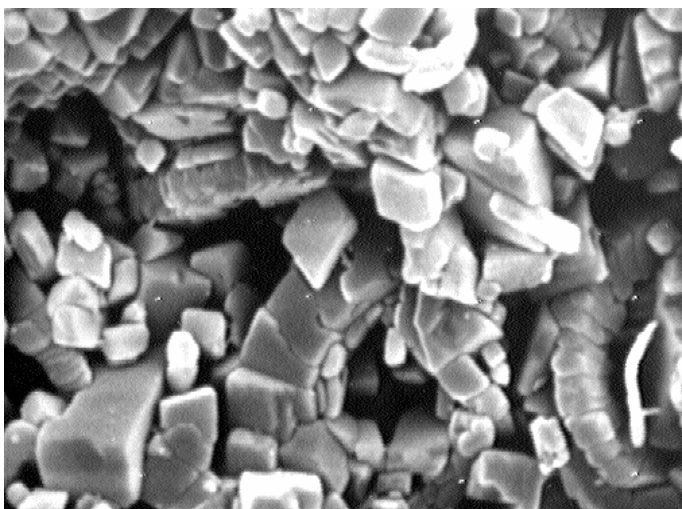
Ved billedanalyse er der ved *enkeltlag* af partikler særlige muligheder for at måle mange partikelparametre samtidigt, f.eks.: Langakse, kortakse, middeldiameter, inertmoment-diameter, omkreds, orientering, elongation og sfæricitet. Enkeltlag fremkommer ved udstrømning af en prøve eller med tilnærmet gyldighed ved visse typer af brudflader.

Mineralklassifikation via farveforskelle

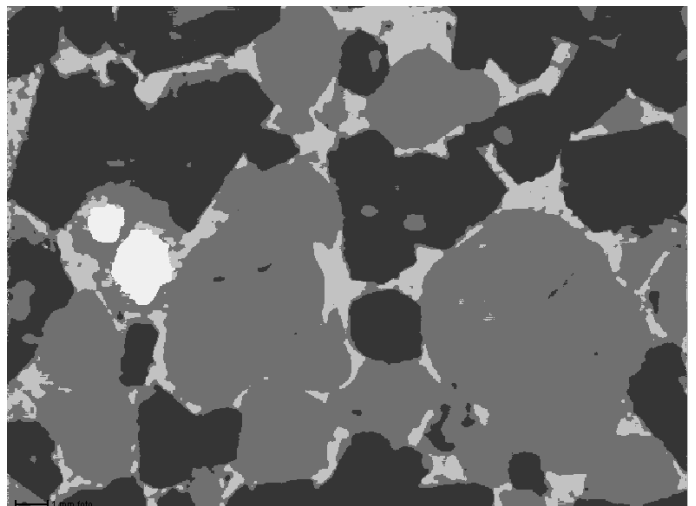
For at et billedanalyse system skal kunne udskille forskellige mineraler på grundlag af farvevariationer, skal følgende betingelser være opfyldt:

Billedanalyse systemet skal kunne optrænes til at skelne farver af enhver art. Dette indebærer også, at den enkelte klasse skal kunne omfatte et givet minerals farvevariation. Et mineral spænder ikke nødvendigvis blot over et større eller mindre "farvespektrum". Der kan for et og samme mineral være tale om flere sådanne "farvespektrum" uden indbyrdes overgange.

I de tilfælde, hvor de enkelte mineralers farvevariation overlapper i nævneværdigt omfang, må skelnevnen forstærkes ved at inddrage forskelle i kornenes morfologi (størrelse og form). Der eksisterer kun 1 eller 2 farveklassifikations-patenter i verden, der tilnærmelsesvis opfylder krav 1,



Figur 3. Interferensfarver. Originalbillede ses til venstre og computerens analyse til højre, hvor fordelingen af mineraler m.m. er fundet til at sådan ud: Allite 48 %, Bellite 41 %, Smelte 10 %, Luft 1 %.



og et af dem er dansk. Vi slutter med en række eksempler på automatisk mineralklassifikation.

Fingrusanalyse

Ved fingrusanalyse kan billedanalyse grovsortere partiklerne efter deres mineralogiske tilhørsforhold (kvarts, kalifeldspat etc.). Der ønskes nu arealprocenter for mineralklasserne som udtryk for mængdeforholdene. Pointen er, at man her har en reproducerbar måde at karakterisere materialet på, og derigennem eventuelt slutte noget om det genetiske tilhørsforhold.

I praksis strøs materialet ned på en flade, der betragtes under vand. For at opnå repræsentative resultater kan processen gentages for samme prøve. Herved kan både middelværdierne og standardfejl på middelværdierne beregnes. Det er interessant, at det også kan lade sig gøre at sætte fejlgrænser på det enkelte billedfelt, idet man kan udnytte, at partikeltællingerne kan antages at være Poisson-fordelte – statistisk set. Originalbilledet (se figur 2) er sammenstillet med det klassificerede billede, hvor forskellige mineraler optræder som forskellige symbolske farver.

Interferensfarver

Polerede og dernæst ætsede overflader kan fremvise farvevariationer, der tillader mineralklassifikation på dette grundlag.

Figur 4 "farvespektrum" Tyndslib mellem krydsede polfiltre. Originalbillede øverst og computerens billede med middelfarver nederst (her kun i s/h).

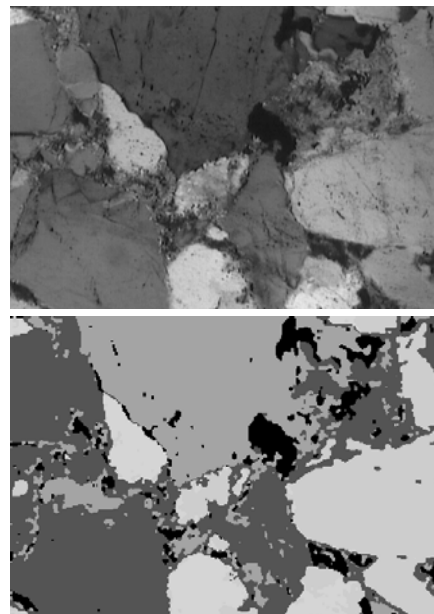
Eksempelet på figur 3 viser en poleret og ætset overflade af cementnoder. Mineralerne er alit (brun), belit (blå-orange-gul) og smelte (grå). Der ses også et par luftbobler.

Ud over originalbilledet er vist det klassificerede billede samt en opgørelse over arealprocenterne for de forskellige mineraler. Bemærk, hvordan belitten genkendes på trods af den store farvevariation for dette mineral.

Tyndslib mellem krydsede polfiltre

I visse tilfælde kan mineraler i tyndslib genkendes automatisk ved hjælp af deres egenfarve eller de farver, der opstår gennem indfarvning. I andre tilfælde frembyder interferensfarverne mellem krydsede polarisationsfiltre en mulighed for automatisk udskillelse af kornene.

Med fordel kan man her lade billedanalyse-systemet indfange billeder af et stort antal vinkelstillinger af mikroskopbordet og tage gennemsnittet af alle billederne. Herved fremkommer *middelfarven*, der kan benyttes til at udskille kornene fra hinanden. Derefter kan kornene beskrives statistisk (størrelse, form, orientering, farve). Originalbilledet (figur 4) viser



middelfarverne, det klassificerede billede af de korn, der fremkommer ved analysen.

Fremtiden

Vi spår billedeanalyse via computer en stor fremtid inden for geologien især til analyse og beskrivelse af mange ensartede prøver. Det digitale udstyr bliver billigere, og programmerne bliver bedre, og det bliver de endda af at blive brugt! ■