

Nissedal komplekset

- studier og mineralefterforskning

Af Geolog Tonny B. Thomsen

Nissedal komplekset i den norske Telemark er et relativt ubeskrevet blad i efterforskningen af Sydnorges prækambriske udvikling. Som led i et kortlægningsprojekt blev der i 1999 afsluttet fire specialer på Århus Universitet. De har bidraget til en bedre forståelse af områdets komplekse geologi og økonomiske potentiale. Denne artikel er baseret på disse specialer.

Nissedal komplekset er et ca. 350 km² stort område dannet i mid-Proterozoikum for omtrent 1-1,6 milliard år siden. Komplekset findes ved søen Nisservatnet i den sydligste del af Telemarken ca. 20 km syd for byen Vrådal. Området ligger i en højde af 245 meter ved Nisservatnet og når op i 883 meter på toppen af bjerget Skornetten. Landskabet er typisk for den norske Telemark med græsarealer, skov, højmose og åbent fjeld.

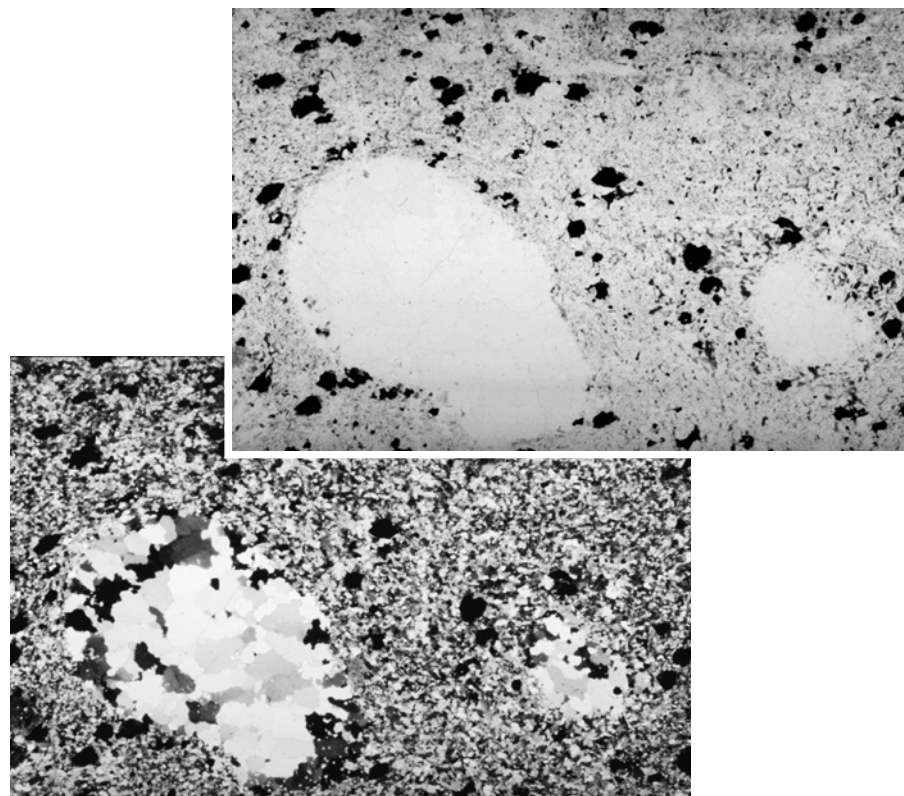
Projektarbejdet omfattede detaljeret kortlægning i en skala 1:5000 og indsamling af et større antal prøver af bjergarterne i Nissedal komplekset. Udvalgte prøver blev siden geokemisk analyseret for hoved- og sporelementer. Hensigten var at studere især de suprakrustale bjergarters geokemiske sammensætning og omdannelse som følge af metamorfe processer. Desuden ville vi finde deres geotektoniske dannelsesmiljø og lokale som regionale stratigrafiske relationer.

Bjergarterne i Nissedal

Nissedal kompleksets bjergarter består udelukkende af forskellige metamorfe og magmatiske bjergarter. Amfibolit, skifer, gnejs, migmatit og konglomerat dominerer de metamorfe bjergarter, mens de magmatiske udgøres af granit, kvarts-feldspat pegmatit og dolerit. De metamorfe bjergarter er metavulkanitter og metaintrusiver, dvs. oprindeligt vulkanske og intrusive, også kaldet plutonske, bjergarter. Spørdisk optræder der indslag af kvartsittisk metasandsten.

Suprakrustale komplekser

Nissedal komplekset, til tider også kaldet Nissedal enklaven, kategoriseres geologisk



Tyndsslibsfoto af kvarts-udfyldte amygduler i en finkornet intermediær metavulkansk bjergart (Foto: Tonny B. Thomsen)

som et suprakrustal bjergartskompleks, så den primære bjergart er altså af sedimentær eller vulkansk oprindelse. Et suprakrustal bjergartskompleks består derfor af suprakrustale bjergarter, men kan derudover indeholde plutonske bjergarter. Det betyder, at der i forbindelse med et suprakrustal bjergartskompleks let forekommer et utal af forskellige typer bjergarter sammen. Dette er også tilfældet for Nissedal komplekset, der med sine 350 km² er et lille suprakrustal kompleks.

Primære strukturer

I Nissedal, som i så mange andre Prækambriske grundfjeldsområder, er det vanskeligt at skelne de metavulkanske fra de metaintrusive bjergarter. Især fordi bjergarternes primære mineralogi er fuldstændigt omdannet. Visse af kompleksets bjergarter indeholder dog strukturer, der giver et fingerpeg om, hvordan områdets amfibolitter, gnejser og skifre er dannet.

Et vigtigt resultat af undersøgelserne i Nissedal er derfor, at vi fandt primære vul-

kanske strukturer i mange af kompleksets sekvenser, hvilket er bemærkelsesværdigt for så omdannede bjergarter. Primære vulkanske strukturer optræder kun i vulkanske bjergarter, og er derfor et sikkert argument for en vulkansk oprindelse. De primære vulkanske strukturer findes især i amfibolit i den nordvestlige del af komplekset i form af amygduler. Amygduler er oprindelige gasudfyldte hulrum, i vulkanologien kaldet vesikler, og som nu er helt eller delvist udfyldt med mineraler. Vesikler er typiske for vulkanske bjergarter, fordi de ikke når at 'gasse af' før de størkner, og dermed indeluttes gassen.

Amygdulerne i Nissedal er typisk udfyldt med kvarts, epidot, feldspat eller hornblende samt jern-kobber-nikkel sulfider og magnetit. Da der i enkelte amfibolitsekvenser optræder plagioklas-porfyroblaster, dvs. rekrystalliserede fenokryster, sammen med amygdulerne er det et stærkt argument for, at disse amfibolitter er af vulkansk oprindelse. Almindeligvis er amfibolitsekvenserne med amygduler da også

finkornede, hvilket jo er typisk for vulkanske bjergarter.

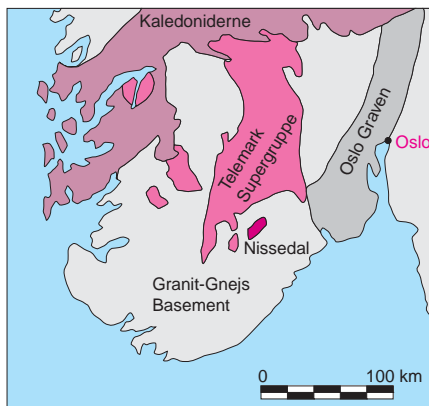
I andre finkornede amfibolitsekvenser kan der være op til 40 cm store mørke aggregater, domineret af metamorf hornblende, plagioklas og biotit. Aggregaterne forekommer typisk i fint bandede amfibolitter, som har konkordante grænser med andre metavulkanske enheder. Og det er derfor muligt, at de er oprindelige pyroklastiske afsætninger i form af bomber, lapilli eller lignende, altså nedfaldsprodukter fra eksplosive udbrud.

I Nissedal kompleksets gnejs- og skifersekvenser optræder der ofte porfyrisk tekstur med små porfyroblaster af især oligoklas og af alkalifeldspat. Porfyrisk tekstur opstår ved hurtig afkøling af en bjergart, der allerede har udkrystalliseret enkelte mineralfaser. Porfyriske bjergarter er derfor ofte vulkanske, men dette behøver ikke være tilfældet. I Nissedal findes porfyroblasterne altid i fint laminerede sekvenser med konkordante grænser til andre metavulkanske enheder, hvilket antyder, at disse bjergarter oprindeligt var vulkanske.

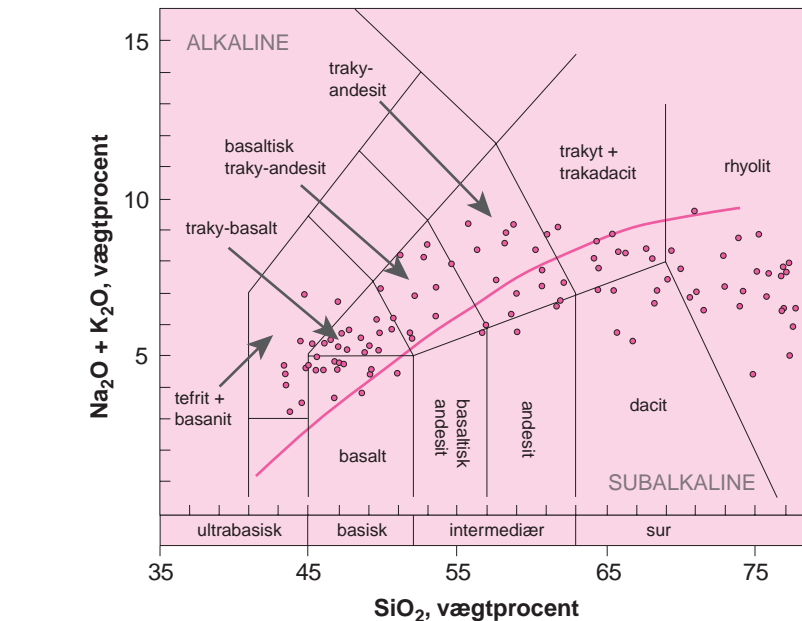
Metamorfose og deformation

Bjergarterne i Nissedal har været udsat for mindst to perioder af regional metamorfose. Omdannelsen har foregået under lavamfibolit facies forhold, hvilket svarer til betingelser med temperaturer på 500-650 °C og et tryk på 3-5 kbar. Metamorfe omdannelser under sådanne forhold vil typisk finde sted i 10-16 kilometers dybde nede i jordskorpen. Efterfølgende er kompleksets bjergarter blevet udsat for retrograd metamorfose, hvor bjergarterne atter er omdannede, men denne gang under lavere temperaturer og tryk end i det foregående miljø.

Nissedal områdets bjergarter er kraftigt foldede i et komplekst dome- og bassinlignende system, men komplekset udgør formentlig én stor synklinale med foldeakse i retning ca. øst-vest. Kompleksets strukturelle udvikling er et resultat af mindst tre deformationsfaser. Først har metamorfose



Kortet viser Nissedal kompleksets beliggenhed i Syd Norge samt dets placering i forhold til Telemark Supergroupe. (Grafik: TBT)



Geokemisk klassifikation af Nissedal kompleksets metavulkanske bjergarter i et TAS-diagram (Total-Alkali-Silica). Den gule streg skiller alkaline bjergarter fra de subalkaline (Grafik: TBT).

som følge af indsinking skabt foliation parallelt med suprakrustalernes oprindelige lagdeling. Derefter har to deformationsperioder med kompression i henholdsvis nord-sydlig og øst-vestlig trykretning forårsaget deformation med shearing og foldning omkring henholdsvis SØ- til ØSØ-lige og SV- til VSV-lige orienterede foldeakser. Trods denne komplekse foldning er det dog muligt at opstille detaljerede stratigrafiske lagsøjler for dele af området.

Geokemiske studier

Udvalgte prøver blev ved hjælp af whole rock geokemisk analyse med et røntgenfluorescensspektrometer, XRF, analyseret for 24 hoved- og sporelementer.

Da kompleksets bjergarter har været udsat for så kraftig metamorfose, kunne bjergarternes geokemi være markant ændret i forhold til deres primære sammensætning. Derfor måtte den kemiske omdannelsesgrad først undersøges. Denne første analyse viste, at metamorfose og hydrothermal aktivitet har påvirket visse grundstoffer i bjergarterne mere end andre. Især måtte vi være opmærksom på anvendelsen af K, Rb, Ba, Cu, Ni, Zn og Cr ved videre tolkning af dataene, mens især Na, Al, Ti, Nb, Y, Zr og V havde været relativt immobile, og derfor ville give mere pålidelige resultater om de primære bjergarter.

Geokemisk klassifikation

Med det i mente viste den geokemiske klassifikation, at de suprakrustale bjergarter repræsenterer en vekslende lagserie af især basiske og sure metavulkanitter. Men også nogle intermediære metavulkanitter, hvilket ikke tidligere var observeret i Nissedal.

De basiske og intermediære metavulkanitter omfatter både alkaline og subalkaline bjergarter. De sure metavulkanitter er derimod alle subalkaline. Med andre ord så spænder de suprakrustale bjergarter i Nissedal over en række af forskellige typer vulkanske bjergarter, fra basanit og basalt over trakyandesit, dacit og trakytil rhyolit. De metaintrusive bjergarter består af forskellige typer af gabbro, herunder lagdelt gabbro.

TAS-diagrammet viser desuden, at alle metavulkanitterne udgør et spredt, men sammenhængende mønster. Dette indikerer, at disse bjergarter stammer fra den samme kilde – altså det samme magma – nede i Jordens skorpe. Figuren viser dog også, at mønstret krydser over fra alkaline til subalkaline bjergarter, hvilket antyder, at der kan være flere kilder til oprindelsen af metavulkanitterne. Alkaline og subalkaline bjergarter dannes jo ikke ud fra det samme magma. Nærmere geokemiske undersøgelser gav dog ingen supplerende oplysninger, og derfor er dette interessante spørgsmål endnu ikke afklaret.

Geotektonisk dannelsesmiljø

Syd Norges suprakrustalområder, herunder Nissedal, anses for vigtige kilder til at opnå en forståelse af det geotektoniske miljø i Proterozoikum. Dette skyldes, at de udgør relativt velbevarede rester af det proterozoiske overflademiljø.

På baggrund af bjergarternes geokemiske signatur, og især ud fra Nissedal kompleksets basiske metavulkanitter, var det muligt at få et billede af det geologiske miljø, som bjergarterne oprindeligt er afsat i. Denne analyse viste, at Nissedal områdets metavulkanske bjergarter sandsynlig-

vis er afsat i et såkaldt kontinentalt, anorgent miljø eller et kontinentalt, riftrelateret geotektonisk miljø. Dette kunne f.eks. være i et intraplade riftmiljø eller i forbindelse med back-arc riftdannelse, som jo er relateret til subduktion.

Med andre ord, metavulkanitterne er formentlig aflejret på kontinentalskorpen i et tektonisk passivt miljø eller i forbindelse med riftdannelse. Det kunne f.eks. være i et randhav eller i en graben i forbindelse med aulacogen-dannelse, måske svarende til den tertiære Basin and Range Provins i Nordamerika. Disse resultater er generelt i overensstemmelse med den fremherskende opfattelse for dannelsen af Sydnorges suprakrustale områder.

Regionale stratigrafiske forhold

Nissedal komplekset betragtes normalt som en del af det større og velundersøgte suprakrustale område i Telemark, kaldet Telemark Supergruppe, der ligger umiddelbart nord for Nissedal. Trods denne associering er der udfra petrografiske og strukturelle data dog aldrig fastslået en direkte sammenhæng mellem de metavulkanske bjergarter i Nissedal og Telemark. At der hverken er be- eller afkræftet en egentlig stratigrafisk sammenhæng skyldes især, at metamorfosegraden er højere i Nissedal end i Telemark Supergruppes bjergarter, hvilket har medført forskellige mineralselskaber.

Et mål med projektet var derfor også at finde stratigrafiske relationer ved sammenligning af geokemiske data for de suprakrustale bjergarter i Nissedal og analoge bjergarter i Telemark Supergruppe. Sammenligningen viste, at Nissedal kompleksets basiske metavulkanitter kan være relaterede til især en bestemt gruppe i Telemark Supergruppe, nemlig den yngre Bandak Gruppe dannet for ca. 1,2-1,1 mia. år siden. Dette var lidt overraskende, fordi Nissedal suprakrustalerne tidligere var antaget at tilhøre den ældre Rjukan Gruppe med en alder på ca. 1,6-1,5 mia. år. På baggrund af geokemien kan de sure metavulkanitter i Nissedal derimod have tilknytning til begge grupper.

Nissedal kompleksets metavulkanske bjergarter kan altså repræsentere flere forskellige dannelsesaldrer. Det er derfor også muligt, at de basiske og sure metavulkanitter er skabt udfra forskellige kilder, altså udfra forskellige typer magmaer i jordskorpen. Det kan igen kan være relateret til ændringer i det geotektoniske miljø.

Minedrift og kortlægning

Nissedal komplekset huser mange små miner og prospekter. Det vidner om, at området igennem tiderne har været udsat for utallige mineralefterforskeres opmærksomhed, professionelle som amatører. Mine- driften og mineralefterforskningen i Nissedal var tidligere koncentreret omkring



Oversigt over Nisservatnet set fra den nordvestlige del af Nissedal komplekset (Foto: Tonny B. Thomson)

Søftestad jernmine – en mine som var aktiv i godt 150 år frem til 1965. Malmen i Søftestad er en båndet magnetit-hæmatit-apatit malm af samme type som verdens største jernmine, Kiruna i Nordsverige. Alene på denne baggrund er området økonomisk interessant.

Set i lyset af dette er det derfor besynderligt, at store dele af komplekset først blev kortlagt af geologer i 1929 og senere på baggrund af dette arbejde igen i 1967. Disse kort har endog store huller især i Nissedal kompleksets vestlige dele. Det har de fire specialer fra Århus nu rådet en del bod på.

Mineralefterforskning

Som en følge af undersøgelserne opkøbte Mindex ASA, nu ejet af Crew Group Corporation, i 1997 udvindelsesrettighederne til en del af området, og iværksatte en efterforskning primært efter kobber og guld. Formålet var i første omgang, at få undersøgt den økono-

misk mest interessante del af komplekset, ca. 15 km² af den vestligste del.

Specielt interessant var et procentvist stort indhold af kobbersulfider, især chalcopyrit og pyrrhotit, der ofte var associeret med magnetit. Disse fandtes i flere af de metavulkanske sekvenser, især de amfibolittiske af basisk og intermediær sammensætning. Sulfiderne sidder i meget små årer samt i amygduler udfyldt med kvarts, magnetit og epidot. Da disse interessante enheder tilmed lå i yderkanten af en større, meget stærk positiv aeromagnetisk anomali med et maksimum på mere end 51500 gamma, igangsatte Mindex ASA derfor yderligere geologiske, geofysiske og geokemiske undersøgelser.

Der blev udført strukturel og jordmagnetisk kortlægning, og indsamlet bækkesedimenter samt flere bjergartsprøver, der alle blev analyseret for Au, Ag, Cu, Zn, Mo, Ni med flere. Resultatet var enkelte anomalt høje guld- og kobberværdier. Disse var især knyttet til tynde

Vandressourcekortlægning

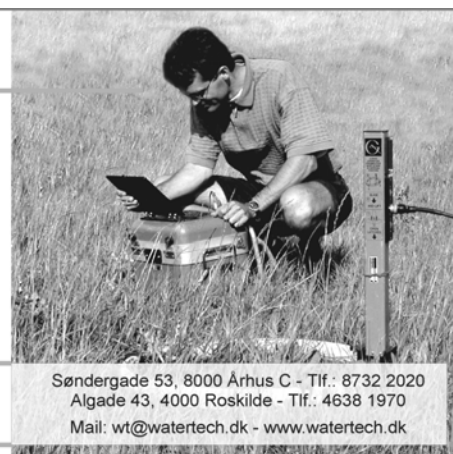
....er ikke bare geofysik, men en kombination af en række fagdiscipliner:

- hydrologi
- vandkemi
- geologi
- geofysik
- GIS og databaser



WaterTech a/s

Søndergade 53, 8000 Århus C - Tlf.: 8732 2020
Algade 43, 4000 Roskilde - Tlf.: 4638 1970
Mail: wt@watertech.dk - www.watertech.dk





kvartsårer i amfibolitterne samt til massive sulfidmineraliseringer med pyrit og magnetit i forbindelse med kvarts-epidot ansamlinger i amfibolit.

Den jordmagnetiske kortlægning påviste adskillige kraftige magnetiske anomalier, som ikke korrelerede med den kortlagte overfladegeologi. Dette gav et fingerpeg om, at sulfidmineraliseringerne blev dannet på et senere tidspunkt end bjergarterne.

På baggrund af denne samlede viden, samt fundet af en kvarts-magnetitbreccie der indeholdt kobbersulfider, fremkom det

forslag, at mineraliseringerne blev dannet i forbindelse med et hydrotermalt system af samme type som skabte den enorme vulkanskassocierede oxidforekomst Olympic Dam i Australien. Denne brydes for kobber, uran, guld og sølv.

Et bidrag til generelt kendskab

Nissedal komplekset fylder ikke meget i den store Sydnorske suprakrustale sammenhæng, og geologisk set har det hidtil været et relativt ubeskrevet blad. Alligevel er det et område, som er yderst interessant, ikke mindst økonomisk. Men især også i

forskningen af Sydnorges prækambriske udvikling pga. dets centrale beliggenhed imellem de suprakrustale områder i Telemark, Bamble og Fyresdal.

De fire specialer fra Århus Universitet har derfor bidraget til at få klarlagt Nissedal kompleksets geologi, og dermed ydet til en bedre forståelse af kompleksets dannelse og regionalgeologiske tilhørsforhold. ■

Resultatløs klimakonference

FN's nyligt overståede klimakonference COP6 i Haag, Holland endte i kaos og ingenting, og blev af Bill Hare, Greenpeace's klimaleder, betegnet som en skammens dag for miljøet. Der var ellers mødt 3000 delegerede fra 200 forskellige lande og miljøorganisationer op, hvilket afspejler en meget stor interesse for den globale klimaudvikling i det 21. århundrede.

Sammenbruddet afslører en dyb uenighed mellem USA og EU om fortolkningen af Kyoto-aftalen fra 1997. I stedet for at diskutere forbedringer af det globale miljø udspillede der sig derfor en verbal krig imellem hovedsageligt USA, Canada, Japan og Australien på den ene side, og EU sammen med de fleste andre lande på den anden.

Stridsmålet stod især om, hvordan omfanget af det nationale CO₂-udslip skulle beregnes. En af hovedårsagerne til sam-

menbruddet var, at USA foreslog, at man i stedet for at skære ned på forbruget af kul, olie og gas skulle opføre skove og landbrugsplanters optag af CO₂, mens de gror. Med andre ord så ville USA anvende CO₂-optaget af skove og landbrugsområder som en form for kulstofdræn for derved at mindske omfanget af deres forpligtelser til at reducere CO₂-udledningen, som det blev aftalt ved Kyoto-mødet i Japan. Verdensnaturfonden fremlagde derpå beregninger som viste, at så behøvede industrilandene ikke at foretage sig noget som helst for at nedsætte deres CO₂-udslip. Det er jo ikke er hensigtsmæssigt. Den danske miljøminister Svend Auken kaldte forslaget for absurd: "Man kan ikke medregne ting, som alligevel ville være sket", udtalte han til pressen.

Grunden til dette forslag skal findes i, at USA står overfor, at skulle nedsætte sin

CO₂-udledning med henimod en tredjedel. Det vil være nødvendigt, hvis landet skal overholde forpligtelserne om en syv procents nedsættelse af CO₂-udslippet i forhold til niveauet for 1990, fordi landet har oplevet en kraftig økonomisk vækst siden da.

I starten bød topmødet ellers på en usædvanlig god stemning og forslag om fremskridt i forhold til Kyoto-aftalen. Men med USA's forslag fyldt med smuthuller samt for dårlige tilbud og for få penge til tredjeverdenslandene, var et kompromis ikke muligt. Et overvældende flertal med de fleste EU-lande i spidsen stemte derfor imod dette forslag. Det skal blive spændende, hvad forhandlingerne næste år i Bonn og senere i Marokko vil byde på af resultater - om end nogen.

TBT ■

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



Geoteknisk Institut

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