

Observationer - og deres videnskabelige værdi

Af Professor emeritus i naturgeografi Karna Lidmar-Bergström, Stockholms universitet

Søren Bom Nielsen (SBN) ironiserer i et indlæg om "Norges fjelde" over den denudationskronologiske metode. Da jeg har arbejdet med denudationskronologi i en form, som dog ikke er identisk med den, som Chorley (1965) i sin tid kritiserede, finder jeg det vigtigt at tage spørgsmålet om observationer som videnskabelig metode op. SBN ser ud til at mene, at det er vigtigere at spekulere end at observere. Han beskriver én naturvidenskabelig metode nemlig den, hvor *man formulerer en hypotese, som man derefter tester*. I den denudationskronologi, som jeg og mine medarbejdere anvender, *går man i stedet ud fra iagttagelser*. SBN sætter spørgsmålstegn både ved muligheden for at give et landskab en alder, og ved at flader udvikles til et vist basinsniveau, samt dermed ved deres anvendelighed for studier af vertikale bevægelser.

Landskabets alder

SBN påstår, at det er umuligt at give et landskab en anden alder end dagens, eftersom der til stadighed foregår processer. Ja, det er jo på sin vis rigtigt. Men hvorfor er det sydøstlige Småland fladt og skrånende fra kontakten med det kambriske dække og i op til 300 meters højde over havet, mens den svenske vestkyst, det nordøstlige Skåne og Blekinge ligeledes er skrånende, men kuperet fra kontakten med kridtdækket op til 130 – 150 m over havet?

Jo, i det sydøstlige Småland er et palæozoisk dække eroderet bort, og en gammel erosionsoverflade, dannet i senprækambrisk tid (det subkambriske peneplan), er igen blevet blottet. Der er ganske vist sket en vis omdannelse af den gamle overflade efter afdekningen, fx gennem forvitring og glacial erosion, men dens regionale hældning og fladhed er den samme, der hvor den findes under kambriske lag på de seismiske profiler fra havområderne, og hvor den er blottet fra havoverfladens niveau op til 300 m over



Dannelse af kuperet relief gennem uregelmæssig kaolin-forvitring i grundfjeldet i mesozoisk tid. Billedet viser den skarpe kontrast mellem friskt og kaolinforvitret fjeld, som er blevet blottet under brydningen af det overliggende kridt. Blaksuddens nedlagte kaolinbrud, Ivön. (Foto: Matt Rowberry)

havet. Ganske vist har de blottede klipper nærmere betragtet en glacial overflade, men den glacial erosion og den præ- og interglaciale forvitring har ikke fjernet mere end højst 20 meter af grundfjeldet. Sagt på en anden måde har overfladen generelt en senprækambrisk alder, mens den – mere detaljeret set – har en glacial alder. Går vi ned på mikro-niveau, kan man i de mere letforvitrede varianter af granit se postglacial forvitring på op til nogle cm, som er let at måle i forhold til den bevarede glacial overflade.

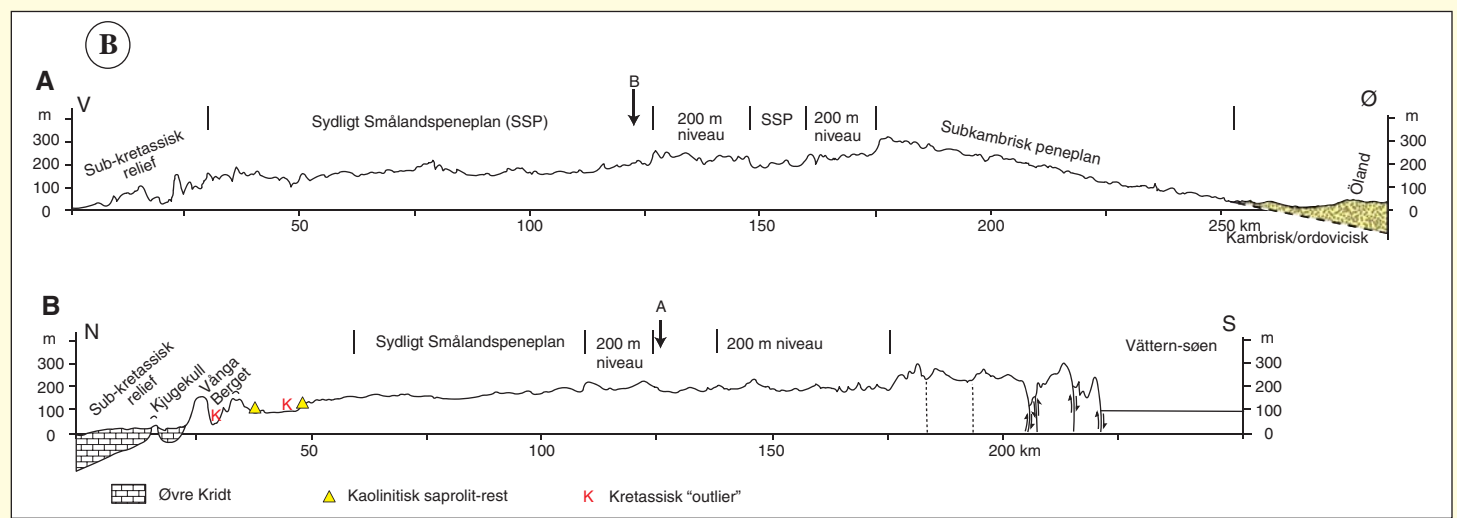
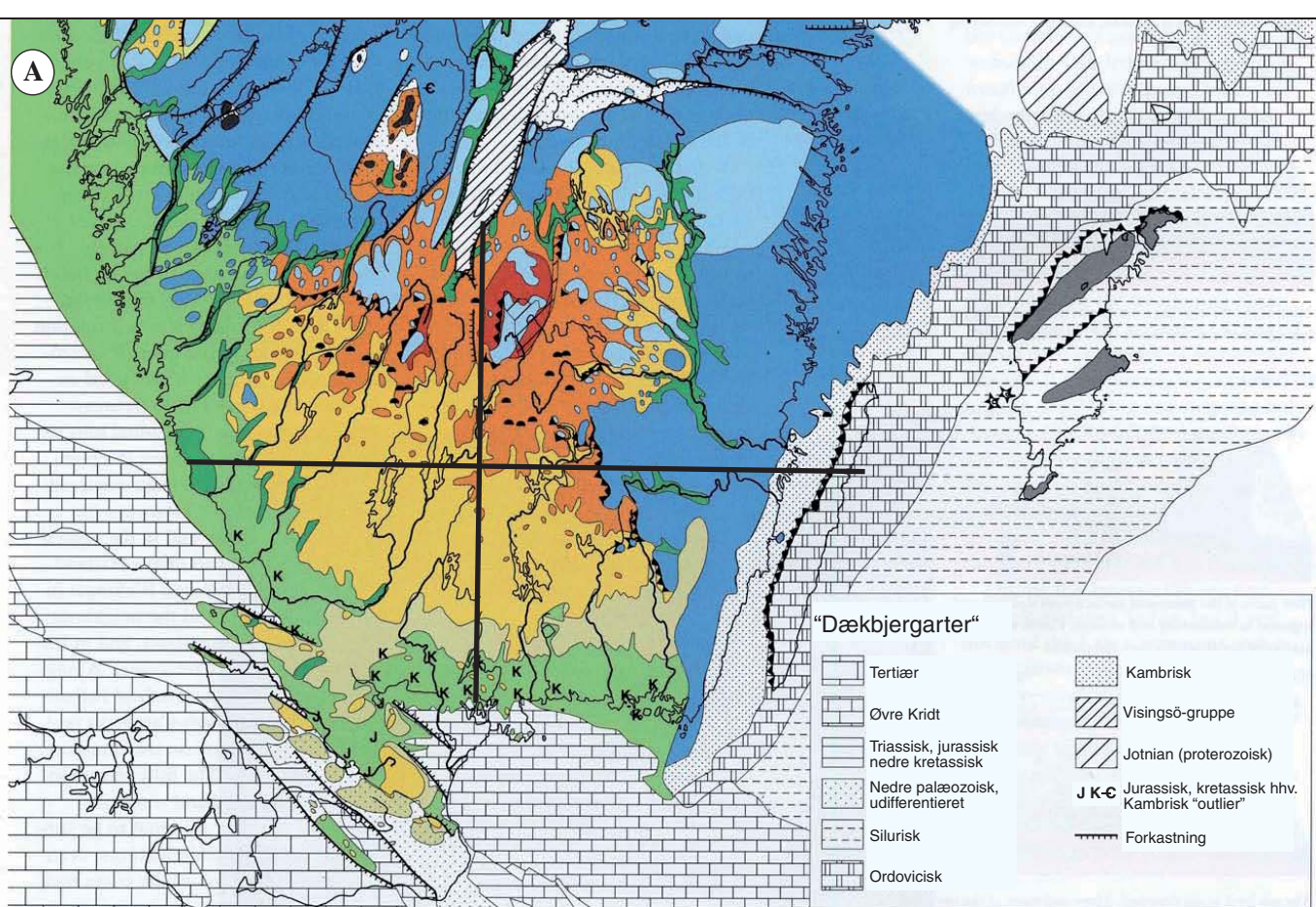
I det nordøstlige Skåne findes rester af et op til 60 m tykt forvittringsdække domineret af kaolin mellem det upåvirkede grundfjeld og det pålejrede skrivekridt. Dette kan studeres i kaolin- og kalkbruddet ved Blaksudden neden for bjerget Ivöklack (Lidmar-Bergström 1989). Kontakten mellem kaolinforvitret og upåvirket grundfjeld er skarp og ujævn. Efter erosion af forvittringsmaterialet opstod således grundfjeldsbakken. Vi kan drage den konklusion, at en del af denne erosion allerede skete i Kridttiden, eftersom skrivekridtet hviler direkte på det ikke-forvitrede grundfjeld, hvor bakken stikker op, mens skrivekridtet længere ude i bruddet ligger på kaolinen. Det kuperede

relief i storskala er altså et resultat af dyb forvitring i mesozoisk tid, og ved hjælp af kaolinrester, kridtrester, det kuperede relief og erosionsfladens skråning kan denne reeksponerede flades udbredelse bestemmes. På samme måde som det subkambriske peneplan er den mesozoiske erosionsoverflade blevet udsat for glacial erosion. Den glacial erosion har her haft lettere ved at virke og har selektivt gravet det meste af den tilbageværende kaolin bort og har fx derved skabt den 50 m dybe Ivö Sø og andre søer i området. Søer er derimod ikke veludviklede på det subkambriske peneplan. Den glacial erosion medfører at det flade forbliver fladt, medens det kuperede bliver mere kuperet.

Et landskab har forskellig alder i forskellige skalaer. Det er ingen hypotese. Det er baseret på empiriske iagttagelser.

Erosionsoverflader og tektonik

Det er muligt at kortlægge både de to erosionsoverflader, som jeg har beskrevet ovenfor, og også en vandret erosionsoverflade, det sydmålandske peneplan, der afskærer den subkretassiske erosionsoverfalde (figuren på næste side). Dette peneplan er karakteriseret af få spredtliggende restbjerge, og det har ingen tilknytning til sedimentære



A) Kort over Sydsverige. Sydsverige er omgivet af sedimenter, som hviler direkte på grundfjeldet, Kambrosilur i nord og øst og Jura/Kridt i vest og syd. Det flade subkambriske peneplan rejser sig fra havoverfladen i øst til 300 m over havet (blåt) mens det sub-kretassiske kuperede relief (grønt) i vest og syd når op til 100-150 m over havet. Det kuperede sub-kretassiske relief er afskåret af det sydsmaålandske peneplan (gråt) (100 - 125 m over havet) og (gult) (125-175 m), som altså er yngre og af kenozoisk alder. Denne flade skærer også ind i det subkambriske peneplan, hvorved der er dannet en erosionskant (sorte trekant), hvor dette er højest. Højereliggende horisontale flader af kenozoisk alder er afbildet i orange (200-300 m over havet) og rødt (>300 m over havet). Sorte halvmåner repræsenterer større, isolerede restbjerge. (Grafik: Lidmar-Bergström 1994 i Sveriges Nationalatlas)

B) Profiler i Ø-V og N-S over Sydsverige, som viser erosionsoverfladernes hældning og relation til de sedimentære dæklag. (Grafik: UVH modificeret efter Lidmar-Bergström 1988).

dæklag. En vis forvitring karakteriseret af grus har kunnet iagttages, og glacial erosion har skabt mange lavvandede søer. Ud fra erosionsoverfladernes udbredelse og hældning kan følgende siges om den tektoniske udvikling af den sydsvenske grundfjeldsdom, der rager op fra de sedimentære dæklag:

1. I senprækambrisk tid var Sydsverige nederoderet til et peneplan tæt på havoverfladens niveau, og peneplanet blev efterhånden oversvømmet af et lavvandet hav. Jeg har ikke hørt om nogen, som sætter spørgsmålstegn ved dette. Her har vi typeeksemplet på et peneplan.

2. Siden blev palæozoiske sedimenter

afsat på peneplanet. Hvor tykke lagene var, er der diskussion om, men de afskårne lagpakker er op mod 1.000 m tykke. Kambriske sandstensgange, endog inden for den sub-kretassiske kuperede overflade, viser, at hele Sydsverige var dækket af nedre palæozoiske dæklag.

3. Vi ved med sikkerhed, at dette dække

var væk i det nordøstlige Skåne, Blekinge og Halland i mesozoisk tid, eftersom kridtet blev afsat direkte på grundfjeldet her, så vi kan konkludere, at der fandt en tektonisk hævnings sted i den sydvestlige del af den sydsvenske dome.

4. Derefter fulgte indsykning i dette område og aflejring af kridtsedimenter. Rester findes i dag op til en erosionsgrænse ved 130 m over havet i det nordøstlige Skåne, men hvor højt det oprindelige kridtdække gik, ved vi ikke.

5. En hævnings førte til, at de marine kridt-aflejringer på den nu skrånende sub-kretassiske flade forsvandt over 130 m over havet, samt at erosionen over dette niveau tog dybere fat i grundfjeldet, og en ny vandret flade blev dannet, det sydsmlandske peneplan.

6. På grund af et ændret basisniveau (tektonisk hævnings eller eustatisk sænkning af havoverfladen) har det sydsmlandske peneplan tabt kontakten med sit oprindelige basisniveau. På grund af basisniveauforandringen er størstedelen af det let-eroderede kridtdække og kaolinforvittringsskappen på den sub-kretassiske flade forsvundet, en vis dalindskæring har hakket i kanten af den sydsmlandske flade, og forvittringen forsætter med at angribe hele landskabet.

Men det er hverken lykkedes den sene forvittring, den glacial erosion eller anden erosion at udradere Sydsveriges tre karakteristiske erosionsoverflader; det subkambriske peneplan, den sub-kretassiske kuperede overflade eller det sydsmlandske peneplan med enkelte restbjerge. Disse fakta kan man ikke se bort fra, og de er grundlaget for empirisk begrundede konklusioner om den tektoniske udvikling.

Dette er et eksempel på, hvordan man anvender denudationskronologi til at drage konklusioner om den tektoniske udvikling baseret på empiriske iagttagelser.

Datering af erosionsoverflader

Som SBN så rigtigt påpeger, sker der en stadig forandring af fladerne afhængigt af de bjergarter, de er dannet i og det klima, der er fremherskende. Vi har ovenfor set, at ingen flader ældre end Tertiær er bevaret i deres oprindelige form, hvis ikke de har haft et beskyttende dæklag. Landskabsanalysen kan ikke give en præcis tidsangivelse for igangsættelse af den erosion, som fører til dannelse af en flade, eller for hvornår den blev fuldført, som fx for det sydsmlandske peneplan. For en sådan datering spiller analyser af undergrundens termokronologi en vigtig rolle.

Erosionsoverflader, basisniveauer og klima

Alle ovenfor nævnte flader er eksempler på erosionsoverflader, som udgør tilnærmede geometriske planer i deres basis, og som er blevet dannet til specifikke niveauer ved hjælp af forvitring, skræntprocesser og til

slut det fluviale system. Det eventuelt kontroversielle er ifølge modstanderne af den denudations-kronologiske metode, at det altid må være havoverfladen, som er basisniveauet, men det er ikke det landformsanalytikerne påstår. Basisniveauet kan udgøres af intermontane bassiner eller bestå (i hvert fald temporært) af modstandsdygtige lag i en sedimentær lagfølge; men i kystnære områder er det svært at bestride, at det er havoverfladen som er det afgørende basisniveau for erosionen i det fluviale system. SBN påstår, at der findes andre processer, der kan skabe overflader bestemt af fælles niveauer, og nævner klimaet (er det en proces?) og polare processer, men på hvilken måde skulle de give bestemte niveauer?

Klimaet påvirker derimod slutresultatet stærkt, som de to typer af re-eksponerede erosionsoverflader i Sydsverige viser. Erfaringen viser, at rigtigt plane overflader er et resultat af aftagende dybdeforvittring og stigende overfladeafspuling pga. manglende vækstlag, hvilket under mesozoisk og kænozoisk tid betyder semiaride klimaer. De periglacial processer bidrager også til fortsat udjævning. Derimod medfører glacial erosion altid øget relief. At isen ikke udgjorde en høvl, som gjorde relieffet fladt, men virkede selektivt, har længe været klart (fx Kleman et al. 2007 og referencer deri).

Gennem lange perioder under nedisningerne lå isen fastfrossen på underlaget og eroderede slet ikke, bortset fra langs større dræningsveje. På den måde er Østersøen blevet fordybet. Den Norske Rende er blevet skåret ud i det sedimentære underlag, de indre dele af shelfens sedimentære grundfjeld er blevet eroderet, og fjorde er blevet "fordybte" til over 1.000 m's dybde. På den anden siden er randmoræner og rulstensåse i det indre Norrland bevaret fra tiden før den sidste isoverskridelse (fx Kleman et al. 2007), og fjeldenes plateau-flader er i visse områder (fx den østre del af de nordlige Skander, områderne omkring Kjølén og Rondane) næsten helt intakte. Det, som man har konstateret gennem glacialmorfologisk analyse, verificeres nu ved hjælp af kosmogen datering (fx Stroeven et al. 2006).

SBN vil teste, om kraftig glacial erosion kan have kørt som en høvl over det sydlige Norge og dermed har dannet dets plane overflader og det høje niveau. Dette er en urimelig antagelse og en total negligering af vidensniveauet inden for glacialmorfologi, som netop tydeligt har vist, at erosionen af overfladerne er lille, men at den glacial erosion generelt øger relieffet gennem kraftig erosion i dalene. SBNs udgangspunkt er, at landskabet er fladt, fordi glacialerosion skulle have dannet sletter og forbliver højt pga. isostatisk kompensation. Ganske vist spiller sådan en kompensation en rolle, men hver modellering må bygge på relevante baggrundsdata, og *det er ikke de regionalt vidt udbredte overflader, som er blevet ero-*

deret dybt af isen! Dannelsen af de norske højsletter har intet at gøre med det glacial, og der findes tilsvarende erosionsoverflader i områder, der aldrig har været nedisede, fx i Spanien.

I et stort antal nye publikationer anvendes erosionsoverflader, der er dannet i forhold til specifikke basisniveauer, og dalindskæringer i disse flader til at rekonstruere kænozoiske hændelsesforløb. Den spanske meseta består af erosionsoverflader i trappetrin dannet i palæozoisk og mesozoisk grundfjeld til basisniveauer, som er bestemt af overfladen på indsykende kontinentale bassiner i sen Palæogen og Neogen i forbindelse med kompression og svag bukning af det gamle grundfjeld (Casas-Sainz & Cortés-Gracia 2002). Her er der ingen tvivl om basisniveau-begrebet og dets relation til dannelsen af erosionsoverflader. I artikler om Italien, der i kvartær tid var udsat for aktiv landhævnings, anvendes erosionsoverflader dannet til specifikke basisniveauer ofte som målestok for hævnings (fx Amato & Cinque 1999). I nyligt udførte studier af Tibet anvendes erosionsoverflader med lavt relief for beregning af den vertikale deformation (Clark et al. 2006). *Det ser ud som om den kritisk mod denudationskronologien, som fx Chorley leverede i 60-erne, er delvist overspillet.*

Hvorfor blev Norges fjelde til?

Fra et landskabsanalytisk synspunkt er årsagerne til ændrede basisniveauer uinteressante. Analysen forsøger bare at give svar på, hvad der er sket, ikke hvorfor. For at besvare spørgsmålet "hvorfor?" er det nødvendigt at samarbejde med geofysikere. Der må findes et korrekt svar, som er i overensstemmelse med både de geofysiske forhold, stratigrafien og landskabsformerne. Det er ikke a priori nødvendigt, at de empiriske landskabsanalytikere tager fejl, som SBN påstår. Fx konstaterede empiriske geologer tidligt, at kontinenterne må have siddet sammen, men geofysikerne mente – baseret på deres hypoteser – at dette var umuligt. Det viste sig, at de tog fejl. De måtte revidere deres synspunkter og gennemføre nye typer af observationer.

At den glacial erosion har forårsaget en vis isostatisk kompensation af Norge, virker rimeligt, men fra et geomorfologisk perspektiv står spørgsmålet tilbage om, hvad der satte gang i den hævnings, som forårsagede den første dalindskæring og dermed dannede de oprindelige dale, som isen senere eroderede så dybt. SBN vil teste hævnings i relation til noget, han kalder Kaledoniderne og peger på, at Bouguer-anomalierne falder sammen med disse. Dette er ikke korrekt. Bouguer-anomalierne falder helt klart sammen med den Skandinaviske fjeldkæde, men derimod ikke med det kaledonske grundfjeld. Desuden findes der ingen fjeldkæde alle de steder, hvor der er kaledonsk grundfjeld, som det er tilfældet

under Nordsøen, sydligste Danmark og Nordtyskland. Derimod er der højtliggende områder langs alle passive kontinentkanter, uanset om de er dannede i prækambrisk grundfjeld, kaledonsk grundfjeld eller noget andet. Specielt dannelsen af Gondwanakontinenternes kanter med højt beliggende flade erosionsoverflader har været genstand for mange studier i de senere år.

Det faktum, at der er et så stort sammenfald mellem Bouguer-anomalierne og den nuværende fjeldkæde, gør det sandsynligt, at der er en anden årsag, nærmere end at de er et udslag af de gamle Kaledonider, som de ikke er sammenfaldende med (se fx Ebbing & Olesen 2005). Der er uomtvisteligt forekommet mange tektoniske bevægelser i det kaledonske område siden silur tid, fx med opdelingen af grundfjeldet i en østlig norsk del og en vestlig grønlandsk del.

Afslutning

Som jeg ser det, handler denne diskussion til dels om forskellige måder at bedrive forskning, hypotese-testning og empiriske studier på. De forskellige måder har hver deres berettigelse, men de hypoteser, der bliver opstillet, må ikke negligere vigtige observationer. Diskussionen påviser også vanskeligheden ved at mestre andre faglige områder end ens eget, hvilket er udfordringen for nutidens "geosystems science" med "Topo-Europe" som et interessant projekt. At stille spørgsmålstegn ved veldokumenterede

rede forskningsresultater uden for ens eget faglige område fordrer, at man er betydeligt bedre klædt på end SBN er, når han forsøger at etablere sin hypotese om den glaciære erosions udglattende formåen og om årsagerne til en fjeldkæde, der omfatter både kaledonske bjergarter og prækambrisk grundfjeld i Skandinavien. Landskabsanalyse som et vigtigt kompletterende værktøj for studier af vertikale bevægelser har absolut en fremtid i den overordnede diskussion om relieffets genese.

Oversat fra svensk af Sussi Albeck

Referencer:

Amato, A. & Cinque, A., 1999: *Erosional landscapes of the Campano-Lucano Apennines (S. Italy): Genesis, evolution, and tectonic implications*. *Tectonophysics* 315, 251-267.

Casas-Sainz, A.M. and Cortès-Gracia, A.L., 2002: *Cenozoic landscape development in the Central Iberian Chain, Spain*. *Geomorphology* 44, 19-46.

Chorley R.J. 1965: *A re-evaluation of the geomorphic system of W.M. Davis*. In: Chorley, R.J. and Haggett, P. (eds.), *Frontiers in geographical teaching*. Methuen, London. Pp. 21-38.

Clark, M.K., Royden, L.H., Whipple, K.X., Burchfiel, B.C., Zhang, Z. & Tang, W., 2006.

Use of a regional relict landscape of the eastern Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research* 111 F03002, doi:10.1029/2005JF000294.

Ebbing, J. & Olesen, O., 2005. *The Northern and Southern Scandes – Structural differences revealed by an analysis of gravity anomalies, the geoid and regional isostasy*. *Tectonophysics* 411, 73-83.

Kleman, J., Stroeven, A.P., Lundqvist, J., 2007. *Patterns and Quaternary ice sheet erosion and deposition in Fennoscandia and a theoretical framework for explanation*. *Geomorphology*, doi:10.1016/j.geomorph.2007.02.049.

Lidmar-Bergström, K., 1988. *Denudation surfaces of a shield area in south Sweden*. *Geografiska Annaler* 70A, 337-350.

Lidmar-Bergström, K., 1989. *Exhumed Cretaceous landforms in south Sweden*. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Suppl.-Bd* 72, 21-40.

Lidmar-Bergström, K., 1994. *Morphology of the bedrock surface*. In *National Atlas of Sweden*, Geology. Red. Curt Fredén. Sid. 44-54.

Stroeven, A.P., Harbor, J., Fabel, D., Kleman, J., Hätteland, C., Elmore, D., Finkl, D. & Fredin, O., 2006: *Slow, patchy landscape evolution in northern Sweden despite repeated ice-sheet glaciation*. *Geological Society of America, Special Paper* 398, 387-396.

De norske fjelde – hvad er op og ned?

DGF afholder temamøde den 28. maj 2008 kl. 17.00 i København

Tema: Har der været fjelde i Skandinavien og Grønland i flere hundrede millioner år, eller løftede de sig til deres nuværende højder fra nær havniveau i løbet af de seneste få millioner år?

- ★ Søren B. Nielsen, David L. Egholm, Ole R. Clausen, Niels Balling, Bo H. Jakobsen, Vivi K. Pedersen, Bartosz Golewski & Marianne R. Thorsen (AU): **ICE (isostasy-climate-erosion) hypotesen for den kænozoiske udvikling af de skandinaviske Kaledonider**
- ★ Niels Balling (AU): **Forklaringen på høj topografi i det vestlige Skandinavien synes at findes i den dybe skorpe**
- ★ Ole Rønø Clausen & Søren Bom Nielsen (AU): **Klimatisk vs tektonisk kontrol på den Kænozoiske sedimentation i Nordsøen**
- ★ Peter Japsen, Johan M. Bonow, James A. Chalmers & Erik Skovbjerg Rasmussen (GEUS): **Kænozoisk landhævning i det nordatlantiske område**

Sted og tid: Geologisk Museum: onsdag 28 maj kl 17.00. Der serveres sandwiches og drikkevarer fra kl. 16.30

Facilitator for mødet er Gregers Dam (DONG Energy)