

atlantens kustberg och högslätter – gamla eller unga?

johan m bonow

Den här artikeln berättar om hur landskaps storformer, tex högslätter och inskurna dalsystem, kan användas för att dra slutsatser om jordskorpan relativa rörelser mot havsnivån, och artikeln beskriver vidare några metoder för att datera dessa rörelser. Kunskap om när områden fick en högre topografi är en viktig fråga för både grundforskning och kommersiella intressen. Tex kan man ställa frågan om vad som var orsaken till de sen-kenozoiska nedisningarna? Var det klimatförsämringar som gav mer erosion i gamla berg, som ledde till isostatisk höjning eller var det uppkomst av unga berg som gav ett kallare klimat med nedisning som följd? Prospekteringsbolag kan använda information om erosion och/eller deposition av sediment på land och till havs för att värdera möjligheterna för utvinning av olja och gas.

Längs Atlantens kuster finns det områden karaktäriserade av kustberg med högslätter och inskurna dalsystem i tex Norge, Skottland, Öst- och Västgrönland, Baffin Island, södra Afrika och nordöstra Brasilien (figur 1). Uppkomsten av kustberg och högslätter längs Atlantens passiva kontinentkant och andra passiva kontinentkanter är ett aktuellt men också kontroversiellt ämne inom både geomorfologisk och tektonisk forskning. Medan uppkomst av berg

på grund av kontinentalplattors kollision (Alperna, Anderna, figur 1) kan förklaras med geofysiska modeller, så finns det ännu ingen accepterad geofysisk modell för uppkomst av berg vid passiva kontinentkanter.

Högslätterna kring Atlanten ligger vanligen på mellan 1 till 2 km över havsnivå, men lokalt tex östra Grönland når bergen upp till 3,5 km. Ofta går det att identifiera flera tydligt separerade nivåer med mellanliggande sluttningar i landskapet, där de högst liggande slätterna är dåligt bevarade, medan de på lägre nivåer blir allt mer välbevarade. Slättområdena dominerar ofta landskapet, och exempelvis är det möjligt att i södra Norge färdas 300 km i nord-sydlig riktning utan att vara under 1000 m över havet. Gemensamt för kustbergen är att de ligger parallellt med riftsystem som fortfarande är eller som var aktiva under mesosoisk och kenozoisk tid (tabell 1). Geomorfologer som arbetade med analys av storskaliga landformer i början av 1900-talet kom till slutsatsen att landskapstypen var ett uttryck för tektonisk upphöjning i kenozoisk tid av vidsträckta, låg-relief slätter (peneplan) som var bildade vid havsnivå, och där upphöjningen ledde till fluvial dalinskränning (Ahlmann 1919, 1941; King 1967). Då högslätterna var gamla i

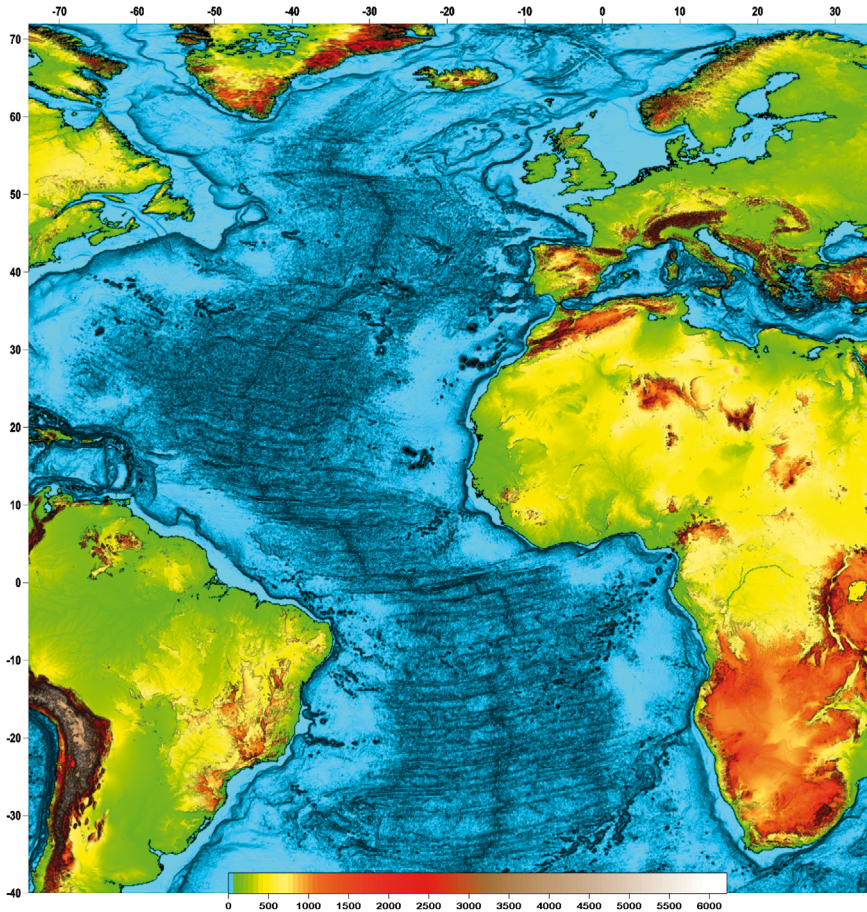
Tabell 1. Geologisk tidsskala. Efter Gradstein et al (2004).

Era	Period	Epok	Ålder, miljoner år
Kenozoikum	Kvartär		1,8–Nutid
	Neogen	Pliocen	1,8–5
		Miocen	5–23
	Paleogen	Oligocen	23–34
		Eocen	34–56
		Paleocen	56–65
Mesozoikum	Krita		65–145
	Jura		145–200
	Trias		200–251
Paleozoikum	Perm		251–299
	Karbon		299–359
	Devon		359–416
	Silur		416–444
	Ordovicium		444–488
	Kambrium		488–542
Prekambrium			äldre än 542

jämförelse med den yngre inskurna reliefen benämndes dessa palaeoytor. Senare geomorfologisk forskning i områden i framförallt södra Afrika och Australien har istället föreslagit att upphöjningen av landskapet skedde då riften blev aktiv i samband med Pangeas uppsprickning mesozoisk tid och att landskapet sedan dess har haft en hög topografi (Ollier 1985). Ollier menade att de höga passiva kontinentkanterna är bevarade riftskuldror, i likhet med de riftskuldror som finns på ömse sidor om den idag nya Östafrikanska riften (figur 1).

Utifrån ett geomorfologiskt perspektiv är båda idéerna bärkraftiga eftersom klassisk landskapsanalys enbart ger en relativ kronologi av den tektoniska utvecklingen, och en eventuell datering av palaeoytor kan bara göras i kontakter mot täckberg

(tex sedimentära bergarter). Speciellt problematiskt är det i tidigare nedisade områden eftersom urberget vanligen saknar täckberg, då, om det tidigare funnits, har eroderats bort på grund av glacialerosion. I södra Sverige finns det dock bevarade paleozoiska och mesozoiska sediment som ligger i kontakt med urberget. Här utvecklade Lidmar-Bergström (1988, 1994) en metodik för kartering av peneplan och kunde visa att urberget har helt olika utseende beroende på under vilka tidsperioder de varit utsatta för vittring under olika klimatförhållanden. Analysen visade att berggrundsytorna i Sydsverige hade fått sitt utseende i prekambrisk, mesozoisk eller kenozoisk tid och deras bevarande kunde kopplas ihop med bevarade av täckberg under vissa perioder och som senare ero-

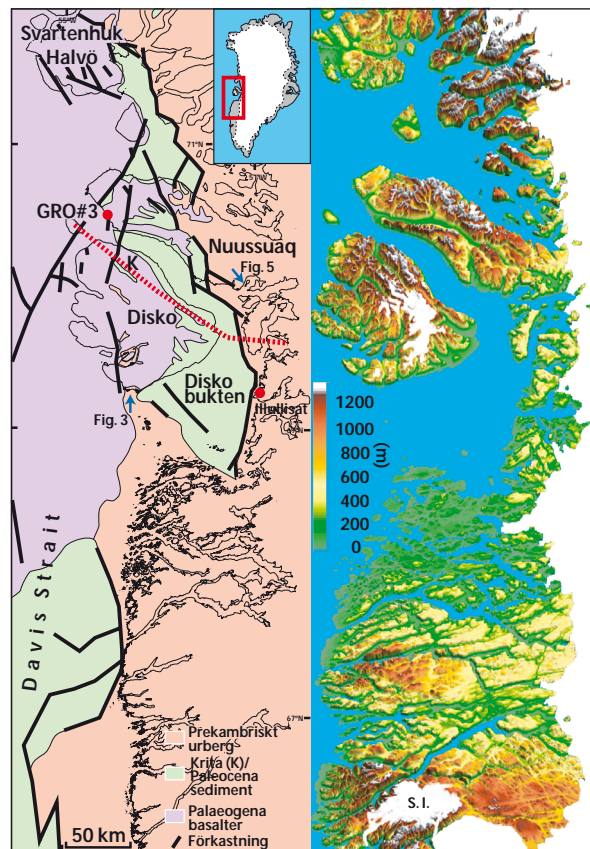


Figur 1. Kustberg och kustslätter på de passiva kontinentkanterna omkring Atlanten i en höjdsiktiska kombinerad med lodskuggning. Kartan visar endast berggrundens topografi, vilket på Grönland framhäver dess kustberg. Den aktiva spridningszonen i den Mittatlantiska ryggen syns tydligt liksom riftskulderna på ömse sidor om den unga östafrikanska riften. Bearbetade Etopo1 höjddata från Amante & Eakins (2008) och <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>.

derats bort. Tolkningen av berggrundsreliefen i detta nyckelområde har starkt bidragit till förståelsen av relief- och tektonisk utveckling i hela Skandinavien sedan prekambrisk tid (Lidmar-Bergström et al 2007), men där den yngsta (neogena) utvecklingen ännu är oklar.

Olliers (1985) idé om bevarade riftskuldror har fått ett stort genomslag internationellt, speciellt inom den del av forskningen som beräknar erosionshastigheter av passiva kontinentkanter med hjälp av termokronologiska metoder (tex Summerfield 2000). Trots forskning på kustbergen

Figur 2. A) Urberg och täckberg i Nuussuaq-bassängen, centrala Västgrönland. Både krita och basalter ligger direkt på urberget, vilket visar att en del av krittäcket blev eroderat redan före vulkanismen. Position för fotografier (figur 3 & 5: blå pil) är markerade liksom profilen (figur 4 röd streckad linje) samt positionen för borrhålet GRO#3. B) Kustberg och högslätter med djupt inskurna dalsystem är typiska drag för landskapet på centrala Västgrönland. Särskilt välbevarade är högslätterna öster om Sukkertoppen Iskappe (S.I.), på Disko, östra Nuussuaq och i området kring Ilulissat. Figuren bearbetad efter Bonow et al (2007).



och högslätterna kring de passiva kontinentkanterna i mer än 100 år är fortfarande många frågor helt öppna och kunskapen om processerna som ligger bakom otillräckliga. Exempelvis kan nämnas frågorna om palaeoyornas ålder, när högslätterna höjdes upp till nuvarande höjd, liksom vilka processer som ligger bakom deras bildande och vilka endogena processer som medverkat till upphöjningen av kontinentkanterna.

Fallstudie med globala konsekvenser
Centrala västra Grönland är del av en pas-

siv kontinentkant med kustberg och högslätter strax över 2 km över havet (figur 1, figur 2). En numera övergiven rift startade i nuvarande Labradorhavet och Baffin Bay i tidig krita. Riftbildningen orsakade bildandet av Nuussuaq-bassängen, innehållande sediment från sen krita och paleocen, överlagrade av paleocena vulkaniter från den aktiva riften (figur 2). Lagerföljden finns idag delvis bevarad på land och visar att området först höjdes upp med dalinskarvning i kritesedimenten som följd, därefter sänktes hela landskapet och dalarna fylldes med paleocena sediment, varefter

allt överlagrades av vulkaniter. Förenklat kan man säga att vulkaniterna är avsatta växelvis i vatten och på land. Lagerföljden är mer än 700 m tjock, vilket visar att området kontinuerligt sjönk i samband med vulkanutbrotten. Marina paleocena sediment finns idag i lagerföljden på 1200 m höjd, vilket visar att området åter igen höjts upp efter paleocen tid (Dam 2002). Dessutom ligger både sediment och vulkaniter i direkt kontakt mot urberget (Henriksen et al 2000, figur 2).

De geologiska förhållandena i Västgrönland gav goda förutsättningarna för en geomorfologisk studie med kartering av peneplan. I centrala Västgrönland kunde tre olika peneplan karteras inom urbergsområdet, karaktäriserade av olika relief: 1) Ett peneplan karaktäriserad av en relief med upp till 100 m höga kullar, formad av djupvittring i mesozoisk tid (figur 3). Denna relief är endast bevarad nära kontakterna med täckberget (Bonow 2005). 2) Ett regionalt lutande peneplan som skär tvärs över grundfjäll, basalter och den kulliga reliefen. Den måste därför vara yngre än de yngsta vulkaniterna i området, från eocen tid (figur 4, figur 5) (Bonow et al 2006a, b). Karteringen visade att peneplanet lutar åt olika riktningar och finns från ca 500 m upp till omkring 2 km över havet på centrala Nuussuaq. 3) Ett yngre peneplan är inskuret i det regionala peneplanet (Bonow et al 2006a). Från den geomorfologiska analysen kombinerat med geologin gick det att visa att kustbergen på centrala Västgrönland inte kunde vara bevarade riftskuldror, utan en betydligt yngre företeelse. Frågan hur gammal topografin är kunde dock inte lösas med enbart geomorfologiska metoder.

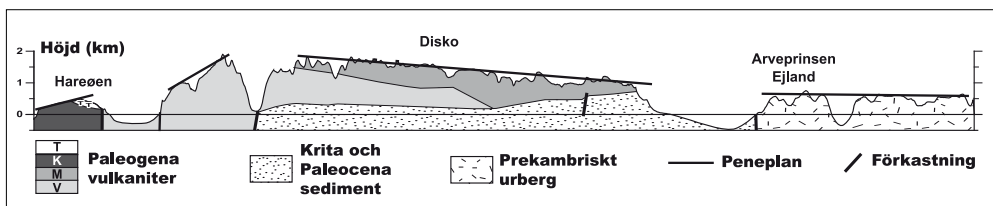
Nuussuaq-bassängen är oljeförande och ett flertal djupa testborrningar har gjorts både till havs och på land för att ta reda på eventuella utvinningsmöjligheter. I ett av borrhålen, GRO#3 (figur 2) på västra Nuussuaq borrade man genom kritsediment till ett djup av nästan 3 km, dock fanns det inga kommersiella mängder av olja eller gas. Däremot så möjliggjordes en analys av berggrundens termala historia genom fissionspårsanalys i apatitkristaller. Analysen är komplicerad men utnyttjar det faktum att temperaturen ökar med djupet mot jordens inre. För en mer detaljerad beskrivning rekommenderas läsaren besöka Geotracks hemsida (<http://www.geotrack.com.au/>). Metoden går i korthet ut på att inne i apatitkristallen finns naturligt uran som sönderfaller (fission). De två partiklarna repulserar och ristar ett spår i kristallen (ca 16 µm långt). Detta sker kontinuerligt, men när kristallen har en temperatur över 110°C så »läks» spåren snabbt och försvinner, men vid lägre temperatur blir de bevarade, dock har man en förkortning av spårlängden till dess kristallen når ca 60°C, då förkortningen av spårlängden upphör. Genom att mäta uraninnehåll, antal spår och spårlängdsfördelning går det att med statistisk metod beräkna en termalhistoria för ett visst prov. Resultatet visar på startpunktsintervall för när en kristall börjar kylas av, tex beroende på att ovanliggande berggrund eroderas bort. Provtagningen i GRO#3 skedde i intervaller och därför kunde en kontinuerlig termalhistoria upprättas. Eftersom de djupast proverna var varmare än 110°C, (dvs inga bevarade fissionsspår) kunde även den allra yngsta erosionsperioden ses i materialet.



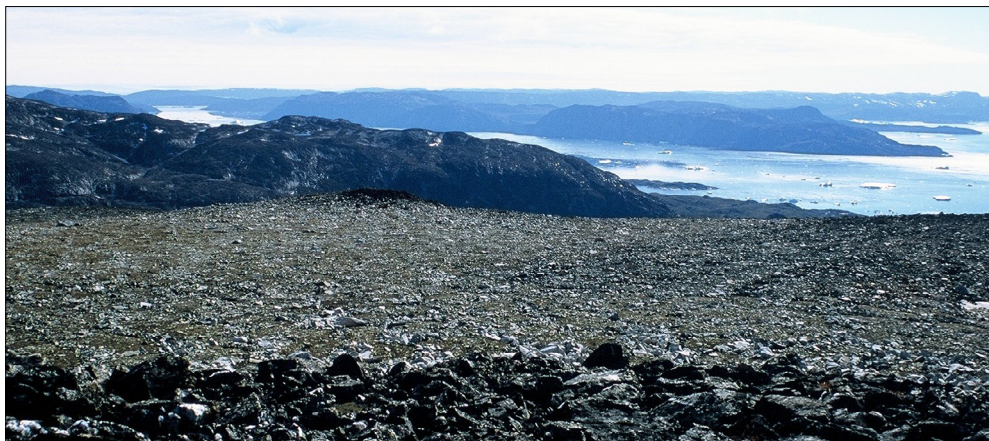
Figur 3. Den mesozoiska vittringsytan är bevarad tack vare basalterna som ligger i direkt kontakt med urbergsytan. Notera även det regionala peneplanet som skär tvärs över basalterna. Releifen är här ca 600 m. Fotografi från Fortunebay, södra Disko. Lokalisering i figur 2. Foto: Johan Bonow, 2003.

Fissionsspårsdatat från GRO#3 indikerade tre erosionperioder, som startade för mellan 36–30, för mellan 11–10 och för mellan 7–2 miljoner år sedan (Ma) (Japsen et al 2005). Genom att korrelera dessa data med de geomorfologiska ytorna kunde man dra slutsatsen att det post-eocena regionala peneplanet började formas genom den erosionsperiod som började för mellan 36–30 Ma och det yngre peneplanet var ett resultat av erosion efter upphöjningen som startade mellan 11–10 Ma. Den sista upp-

höjningsfasen mellan 7–2 Ma orsakade fluvial dalinskärrning, och dessa dalar fördjupades och vidgades senare av glacial erosion (Japsen et al 2006, figur 2 i Bonow et al 2007). Dessutom visade fissionsspårsdatat att även miocena sediment krävdes för att kunna förklara de observerade temperaturerna, sediment som idag bara återfinns till havs. Dateringen av ytor med hjälp av fissionsspår visade dels att det krävs 15–20 Ma för att forma ett välutvecklat peneplan, dels att äldre ytor helt



Figur 4. Profil över det regionala peneplanet som skär tvärs över urberg och basalter. Den något brutna vinkeln på peneplanet tyder på reaktivering av förkastningar i Diskobukten. Figuren bearbetad efter Bonow (2004). Lokalisering i figur 2.



Figur 5. Det regionala peneplanet utbildat över urberget på östra Nuussuaq. Peneplanet har här en nivå på omkring 700 m och sluttar mot lägre nivåer mot söder. Glacial erosion har delvis omformat det ursprungliga peneplanet och i detaljerna dominerar periglaciala former. Lokalisering i figur 2. Foto: Johan Bonow, 2002.

omvandlas om de inte har täckberg (dvs den mesozoiska kulliga reliefen), och dels att den landskapstyp med kustberg och högslätter, vanligen tolkat som riftskuldror visade sig vara upphöjda betydligt senare, vilket i Västgrönland påbörjades för omkring 10 miljoner år sedan.

Exemplet med utveckling av kustberg längs den passiva kontinentkanten på Västgrönland visar att Olliers (1985) antagande att denna landskapstyp utgörs av bevarade riftskuldror, inte är en allmängiltig sanning, utan istället finns möjligheten att kustbergen, högslätterna och inskärningen är orsakad av unga tektoniska företeelser. Det här synsättet möter naturligtvis på starkt motstånd inom vissa delar av forskningsvärlden som arbetar med modellering av erosionhastigheter på kontinentkanterna, eftersom modellerna förutsätter en hög kontinentkant sedan tidpunkten för riften (tex Summerfield 2000).

Är Atlantens kustberg och högslätter gamla eller unga?

För att kunna besvara om kustbergen och högslätterna är gamla eller unga vid en viss kontinentkant behövs kunskap inom 1) stratigrafi på land och till havs, 2) berggrundens termala historia och 3) den relativa kronologin från detaljerad kartering av de storskaliga landformerna. Generellt så finns det bra eller mycket bra data när det gäller stratigrafi och termalhistoria kring kontinentkanterna, medan landformerna för närvarande bara har karterats i detalj i Västgrönland och nordöstra Brasilien, medan kartering i Östgrönland pågår. Karteringen i Brasilien visar ett landskap med två peneplan, båda med regional utbredning och något lutande mot öst, dels på en höjd av mellan 1200–1000 m, och dels mellan 500–200 m över havet. Båda peneplanen skär av de bergarter som finns bevarade i en riftbassäng (Recôncavo-Tuca-

no-Jatobá-bassängen) från krita, och båda har därför utvecklats senare. Med korrelering mot bevarade rester av täckberg på land i små områden är vår tolkning att pe-neplanen har en paleogen respektive miocen ålder (Bonow & Japsen 2008). Analysen ger att landskapet i nordöstra Brasilien reflekterar en relativt sen upphöjning och inskärning, och inte är en rest från en riftskuldra från krittid. Frågan är om detta är allmängiltigt eller ej för de passiva kontinentkanterna, det får framtidens forskning svara på. I vilket fall som helst så visar framförallt västgrönlandsstudien att de höga kustbergen och kustslätterna inte längre bara kan antas utgöra rester av en riftskuldra som hittills gjorts.

Framtida perspektiv på storskalig geomorfologisk forskning

Geomorfologisk forskning om storskalig reliefutveckling i samband med tektoniska händelser står inför en ny tid. De allt bättre höjddata som blir tillgängliga (tex från NASA:s rymdskyttel, SRTM, Jarvis et al 2008) gör det möjligt med objektiv landformsanalys över stora områden. Lagerföljden på havsbottnarna blir allt mer känd,

Referenser

- Ahlmann, Hans W:son (1919) Geomorphological studies in Norway, *Geografiska Annaler* 1: 3–210.
 Ahlmann, Hans W:son (1941) Studies in North-East Greenland 1939–1940, Part I-II, *Geografiska Annaler* 23: 145–209.
 Amante, Chris & Barry W Eakins (2008) ETO-PO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, National Geophysical Data Center, NESDIS, NOAA, U.S. Department of Commerce, Boulder, CO.
 Bonow, Johan M (2004) Palaeosurfaces and pala-

vilket kan utnyttjas för sambandet mellan erosion på land och deposition i havet. Men för att kunna datera den relativa kronologin från landformsanalysen i områden utan täckberg (tex Norge) och för att kunna veta om det där funnits täckberg som nu är helt borteroderade krävs samarbete med geofysiker som arbetar med berggrundens termalhistoria och modellerare av jordskorpans och mantelns uppbyggnad (jämför Bonow et al 2007). Samarbete mellan olika forskningsinriktningar kommer också att vara en nödvändighet för att kunna förklara de mekanismer och processer i jordens inre som i sin tur förklarar varför de höga passiva kontinentkanterna existerar.

Tack

Forskningen om Brasilien finansieras av StatoilHydro do Brasil genom projektslag till De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Forskningen på Grönland har finansierats av Carlsberg Foundation. Jim Chalmers, Paul Green, Peter Japsen och Karna Lidmar-Bergström tackas för mångårigt samarbete.

- eovalleys on North Atlantic previously glaciated passive margins – reference forms for conclusions on uplift and erosion. *PhD-thesis. Dissertation No. 30*, The Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University. 17 pp + 4 articles.
 Bonow, Johan M (2005) Re-exposed basement landforms in the Disko region, West Greenland – disregarded data for estimation of glacial erosion and uplift modelling, *Geomorphology* 72 (1-4): 106–127.

- Bonow, Johan M & Peter Japsen (2008) Magnitude of tectonic uplift events along passive margins estimated from analysis of base-level governed erosion surfaces. AAPG International Meeting and Exhibition. Cape Town, South Africa, 26–29 October 2008.
- Bonow, Johan M; Karna Lidmar-Bergström & Peter Japsen (2006a) Palaeosurfaces in central West Greenland as reference for identification of tectonic movements and estimation of erosion, *Global and Planetary Change* 50 (3-4): 161–183.
- Bonow, Johan M; Peter Japsen; Karna Lidmar-Bergström; James A Chalmers & Asger K Pedersen, (2006b) Cenozoic uplift of Nuussuaq and Disko, West Greenland – elevated erosion surfaces as uplift markers of a passive margin, *Geomorphology* 80 (3-4): 325–337.
- Bonow, Johan M; Karna Lidmar-Bergström; Peter Japsen; James A Chalmers & Paul F Green, (2007) Elevated erosion surfaces in central West Greenland and southern Norway: their significance in integrated studies of passive margin development, *Norwegian Journal of Geology* 87 (1-2): 197–206.
- Dam, Gregers (2002) Sedimentology of magmatically and structurally controlled outburst valleys along rifted volcanic margins: Examples from the Nuussuaq basin, West Greenland, *Sedimentology* 49, 505–532.
- Gradstein, Felix M; James G Ogg; Alan G Smith; Wouter Bleeker & Lucas J Lourens (2004) A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene, *Episodes* 27 (2): 83–100.
- Henriksen, Niels; Anthony K Higgins; Feiko Kalsbeek & T Christopher R Pulvertaft (2000) Greenland from Archaean to Quaternary. Descriptive text to the Geological map of Greenland, 1:2500000. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 185, 93 pp.
- Japsen, Peter; Paul F Green & James A Chalmers (2005) Separation of Palaeogene and Neogene uplift on Nuussuaq, West Greenland, *Journal of the Geological Society of London* 162, 299–314.
- Japsen, Peter; Johan M Bonow; Paul F Green; James A Chalmers & Karna Lidmar-Bergström (2006) Elevated passive continental margins: long-term highs or Neogene uplifts? New evidence from West Greenland, *Earth and Planetary Science Letters*, 248, 315–324.
- Jarvis, Andrew; Hannes I Reuter; Andrew Nelson & Edward Guevara (2008) Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Lidmar-Bergström, Karna (1988) Denudation surfaces of a shield area in south Sweden, *Geografiska Annaler* 70A, 337–350.
- Lidmar-Bergström Karna (1994) Berggrundens ytformer, i C Fredén (red) *Berg & Jord*, Sveriges Nationalatlas (SNA), Almqvist and Wiksell International, Stockholm.
- Lidmar-Bergström, Karna; Jens-Ove Näslund; Karin Ebert; Truls Neubeck & Johan M Bonow (2007) Cenozoic landscape development on the passive margin of northern Scandinavia, *Norwegian Journal of Geology* 87 (1-2): 181–196.
- King, Lester C (1967) The morphology of the earth (2:a upplagan), Oliver & Boyd, Edinburgh.
- Ollier, Cliff D (1985) Morphotectonics of passive continental margins: introduction, *Zeitschrift für Geomorphologie* N.F., Suppl, Bd 54, 1–9.
- Summerfield, Michael A (red) (2000) *Geomorphology and global tectonics*, Wiley, Chichester.

*Johan M Bonow är naturgeograf och forskare vid
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og
Grønland (GEUS) i Köpenhamn.
E-post: jbon@geus.dk*