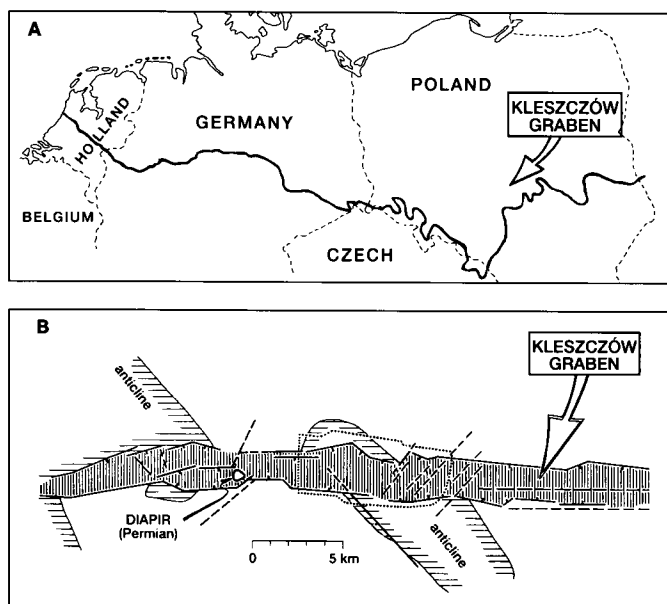


# Een bruinkoolmijn als geologische goudmijn in een kunstmatig gebergte in centraal Polen

door A.J. van Loon

Polen kent diverse gebergten, waarvan de Hoge Tatra in het zuidoosten verreweg het bekendste is. Ook elders is de zuidgrens met het voormalige Tsjecho-Slowakije bergachtig. Maar sinds enkele jaren is er een gebergte bijgekomen. Bescheiden van afmetingen, niet voor iedereen toegankelijk, maar voor geologen die toestemming hebben het te betreden: een ware goudmijn.



Afb. 1. Geologische en geografische context van de Kleszczów-slenk.  
**A:** locatie; de dikke lijn geeft de maximale uitbreiding aan van de ijskap van het Saalien. **B:** vereenvoudigde tektonische structuur van de slenk, met de positie van de Permische zoutdiapir bij Debina. (uit: Brodzikowski et al., 1987)

Het gaat om de Kleszczów-slenk (graben) in centraal Polen (Afb. 1), nabij bij de plaats Belchatów. Deze plaats heeft in Nederland enige bekendheid verworven doordat de Samenwerkende elektriciteitsproductiebedrijven (Sep) er een aantal rookgasreinigingssystemen hebben bekostigd en helpen installeren in elektriciteitscentrales. Centrales in meervoud, want er staan er heel wat op een rijtje en het moeten er nog meer worden: 16 om precies te zijn, met elk een vermogen van 1000 megawatt (MW), zodat de totale capaciteit 16.000 MW moet worden.

Dat is meer dan het piekgebruik in heel Nederland van het publieke elektriciteitsnet! Die enorme concentratie van vermogen is geen toeval: de centrales (komen te) liggen aan de rand van een gigantische bruinkoolmijn (Afb. 2). De Mioocene bruinkool wordt in dagbouw gewonnen. Om bij de bruinkool te komen, moeten echter eerst de Kwartaire deklagen worden verwijderd.

Dat alles gebeurt op een schaal van nauwelijks voorstelbare afmetingen. De winning van de bruinkool is nu in volle gang, en het 'gat' daarvoor is zo'n 1-3 km breed en zo'n 3-5 km lang (de afmetingen fluctueren), zodat de mijn een oppervlakte beslaat van ca. 10 km<sup>2</sup>. Langzaam wordt aan een (korte) zijde van de mijn nieuw materiaal weggegraven, terwijl aan de andere kant alweer begonnen is met de opvulling. Maar intussen is er wel veel dekmateriaal tijdelijk

buiten de mijn opgeslagen. Dat materiaal vormt een enorme berg, die zo'n 500 m hoog is. Omdat de mijn zelf plaatselijk zo'n 500 m diep moet worden (de bruinkool zit in een slenk waarin ook weer een secundaire slenk is ontwikkeld), is het hoogteverschil over korte afstand ongeveer 1 km; daarom kan men spreken van een kunstmatig gebergte, bijna zelfs een hooggebergte.

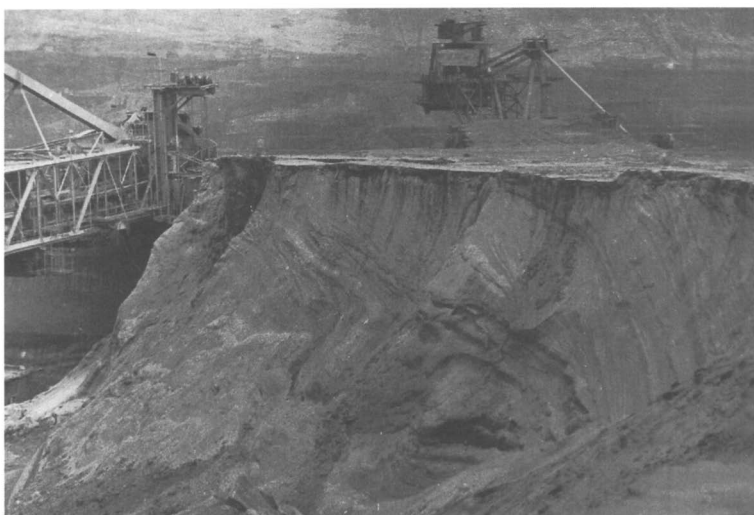
Hoe interessant de bruinkool voor sommige experts ook mag zijn, geologisch gezien gaat de interesse vooral uit naar de Kwartaire bedekking. Niet alleen vormt de groeve een ontsluiting in het Kwartair zoals die waarschijnlijk nergens anders ter wereld bestaat (met behoorlijk schone wanden van kilometers lang, deels loodrecht op elkaar, met steeds nieuwe afgravingen waardoor je een prachtig 3-D beeld van de afzettingen kunt krijgen), maar ook is het Kwartair (50-250 m dik in de slenk) er door de voortgaande slenkvorming zeer volledig. Zo zijn er maar liefst zeven glaciaties te herkennen, veelal in behoorlijk dikke pakketten (buiten de slenk zijn de corresponderende afzettingen zo'n 3-10 maal dunner).

## Geologische context

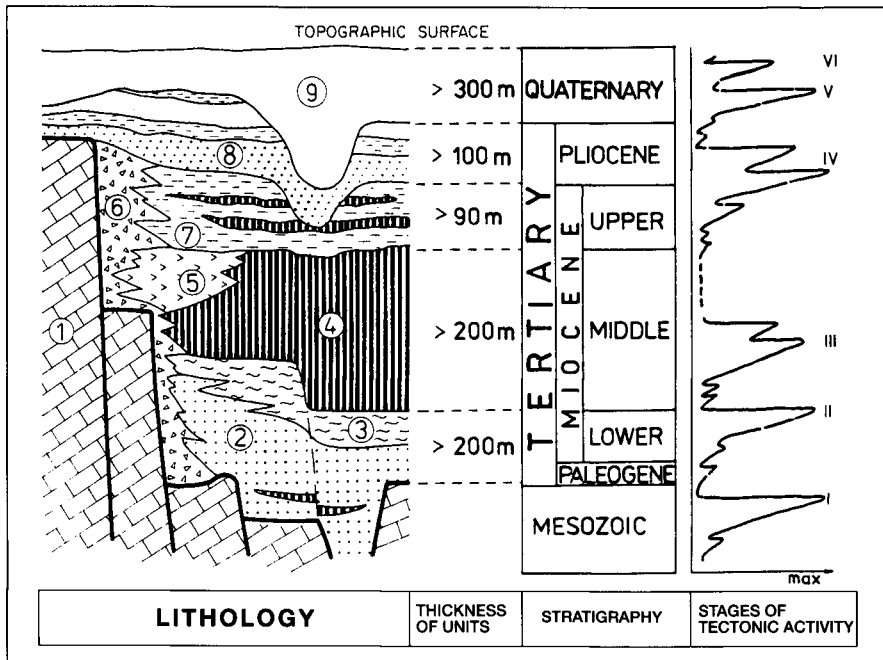
De Kleszczów-slenk maakt deel uit van een synclinorium. Hij scheidt de zogeheten Depressie van Łódź in het noorden van het Radomsko-hoog in het zuiden. De slenk strekt zich van oost naar west uit over een lengte van meer dan 40 km en is 1-3 km breed. De Tertiaire en Kwartaire opvulling is over het grootste deel 300-400 m dik, maar door de aanwezigheid van een kleine secundaire slenk lokaal meer dan 500 m (Afb. 3).

De regionale geologie is behoorlijk gecompliceerd; bij gebrek aan andere gegevens berust de kennis op boringen tot ca. 4000 m diep. De oudst aangetroffen pakketten betreffen Carbonische zandstenen die tijdens de Hercynische orogenese sterk gedeformeerd zijn. Ze worden bedekt door het Zechstein (met deels zoutafzettingen) en met zandsteen, kalksteen en schalies uit het hele Mesozoïcum. Deze ca. 3000 m dikke 'oude' gesteenten werden gedurende de Laramide fase (Laat-Krijt) van de Alpen orogenese gebroken en geplooid, waarbij veel NW-ZO lopende anticlinen en synclinalen ontstonden, en ook het synclinorium waarin de Kleszczów-slenk ligt.

Deze slenk ontstond iets later, waarschijnlijk aan het einde van de Laramide fase, als gevolg van breukvorming op de scharnierlijn tussen de Depressie van Łódź en het Radomsko-hoog.



Afb. 2. Gigantische graafmachines verwijderen de Kwartaire deklagen boven de bruinkool.



Afb. 3. Schematische opvulling van de Kleszczów-slenk.

1 = Mesozoïcum; 2-8 = Tertiair; 9 = Kwartair; 1 = kalksteen en mergel; 2 = fluviatiele en lacustriene zanden; 3 = silt en klei; 4 = bruinkool; 5 = zoetwaterkalk; 6 = fluviatiele waaier; 7 = lacustriene en fluviatiele klei; 8 = fluviatiel zand; 9 = vnl. glaciaan Kwartair. (uit: Brodzikowski et al., 1987)

De grensvlakken van de slenk volgen de structurele richtingen in de diepe ondergrond. De ontwikkeling van de slenk is tamelijk goed bekend (Afb. 4-5).

### Verstoring van de sedimenten

Door de voortgaande tektoniek is de sedimentaire opeenvolging in de slenk sterk gedeformeerd. Het optreden van afwisselend stijgende en weer dalende 'blokken' binnen het slenkstelsel zorgde niet alleen voor een van plaats tot plaats sterk wisselende sedimentatiegeschiedenis, maar ook voor lokaal sterk uiteenlopende tektonische stijlen. Daarbij komt nog de zouttektoniek die plaatselijk zeer sterk was.

De slenk wordt als het ware in twee stukken gedeeld door een grote zoutdiapier (bij Debina, zie Afb. 1).

Ook karstverschijnselen (met instortingsverschijnselen) in de Mesozoïsche pakketten in de ondergrond hebben aan de complexe structuur van opvulling in de slenk bijgedragen. Als verstoring van totaal andere aard is er de compactie die heeft plaatsgevonden in de bruinkool.

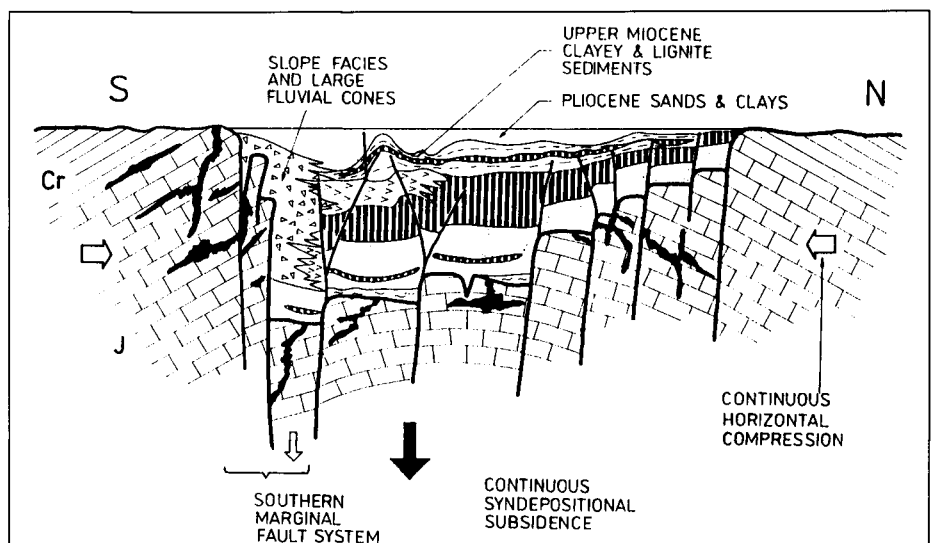
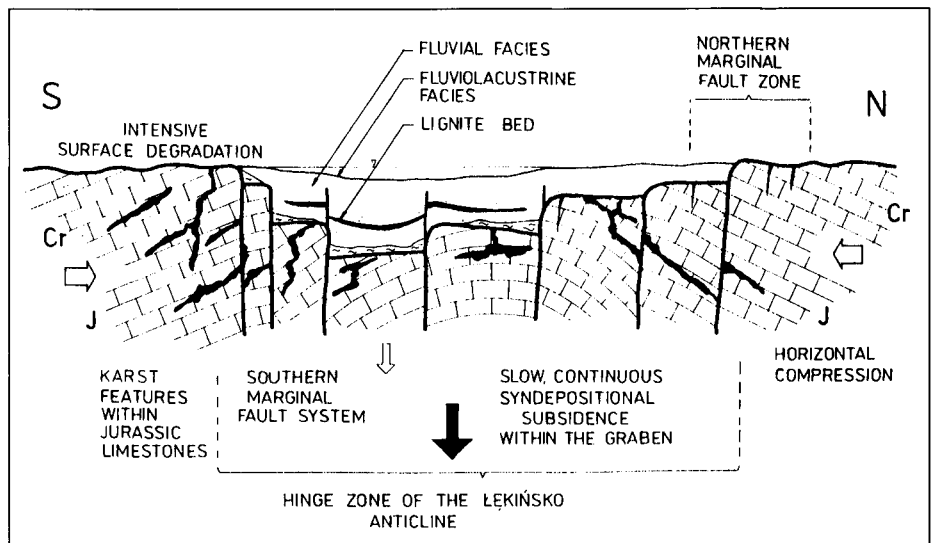
Momenteel zijn de bruinkoolpakketten op de meeste plaatsen gezamenlijk zo'n 200 m dik, maar sinds hun bedekking door klastische sedimenten (die ca. 12 miljoen jaar geleden begon) is hun dikte waarschijnlijk met ongeveer de helft afgenomen. Aanvankelijk moet er dus zo'n 400 m (vooral venig) organisch materiaal opgesteld hebben gelegen. Door de laterale

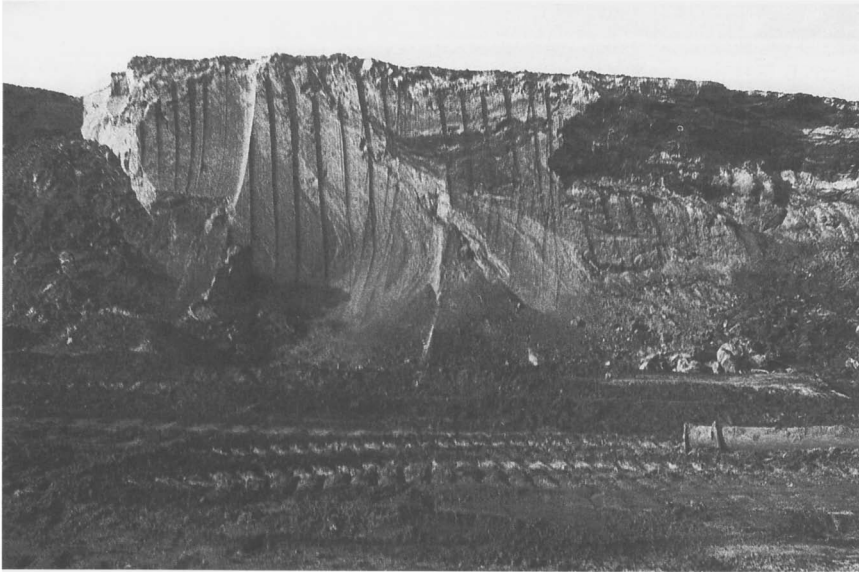
Afb. 4. De ontwikkeling van de dikke bruinkoolpakketten kan worden verklaard uit de wordingsgeschiedenis van de slenk, hier is de toestand in het Vroeg-Mioceen weergegeven. (uit: Brodzikowski et al., 1987)

Afb. 5. De gecompliceerde structuur van de slenk in het Plioceen. (uit: Brodzikowski et al., 1987)

overgangen tussen veen en slib, maar ook doordat het veen ten gevolge van de blokvorming in de slenk niet overal even dik was ontwikkeld, moet er sprake zijn geweest van differentiële compactie, die aanzienlijk moet hebben bijgedragen aan de verstoring van de bovenliggende sedimenten. Een bijzondere factor vormde de afwisseling van glacialen en interglacialen tijdens het Pleistoceen. Het gebied van de Kleszczów-slenk onderging tijdens diverse ijstijden vergletsjeringen, soms enkele achter elkaar.

De afwisseling van perioden met en zonder dikke ijsbedekking leidde uiteraard, door het gewicht dat het ijs op de ondergrond uitoefende - en in het bijzonder door de drukverschillen die ontstonden aan de ijsrand - tot enorme deformaties, onder meer in de vorm van klei- en bruinkooldiapieren die zich door de bovenliggende lagen een weg omhoog zochten (Afb. 6).





Afb. 6: Diapieren van Miocene bruinkool (links, en rechts boven) en jongere glaciogene siltige kleien.

### Tektoniek als interessant studie-object

De geschiedenis van de slenk als zodanig begon zo'n 25 miljoen jaar geleden. En hij is nog steeds niet afgelopen, want nog steeds is het gebied tektonisch actief. In de bruinkoolmijn komt dat tot uiting doordat kleine aardbevingen verticale spronghoogtes veroorzaken (tot nu toe van hooguit enkele millimeters per keer). Wie beseft dat er binnen zo'n 25 miljoen jaar een totale spronghoogte in de slenk is ontstaan van maximaal 800 m (overeenkomend met gemiddeld ongeveer een millimeter per 30 jaar), waarvan 200-250 m gedurende het Pleistoceen (overeenkomend met een millimeter per 10 jaar), zal inzien dat we nu kennelijk in een tijd van relatief sterke tektonische activiteit leven. Alleen dat lijkt al reden genoeg voor intensief onderzoek. Hierbij moet overigens worden aangetekend dat de enorme - geologisch gezien zeer plotselinge - drukverschillen die ontstaan door de mijnbouw, een rol kunnen spelen bij de huidige tektonische activiteit.

Daarnaast zijn er tektonische (en sedimentaire) deformaties (Afb. 7) op de schaal van honderden meters tot millimeters.

Zo leverde het Kwartair van deze groeve het eerste bewijs voor het bestaan van kinkstructuren (Z-vormige plooistructuren) in onverharde sedimenten.

De gecompliceerde tektoniek is overigens, in samenhang met de snelle horizontale en verticale faciësovergangen in de opeenvolging, een bron van grote zorg bij het verwijderen van de deklagen. De apparatuur, bestaande uit een soort 'baggermachines', moet namelijk voor een optimale voortgang van het werk rekening houden met de aard van de sedimenten die moeten worden weggegraven.

Breukvlakken, diapieren, etc.

kunnen ervoor zorgen dat zo'n machine in onverwacht materiaal terecht komt en daarin vastloopt. Het ontrafelen van de tektonische structuur van de slenk (en zijn opvulling) is dan ook van enorm economisch belang.

### Glaciale faciës

In vergletsjerde laaglandgebieden is het aantal ontsluitingen vaak schaars. Een gevolg daarvan is dat er relatief weinig bekend was

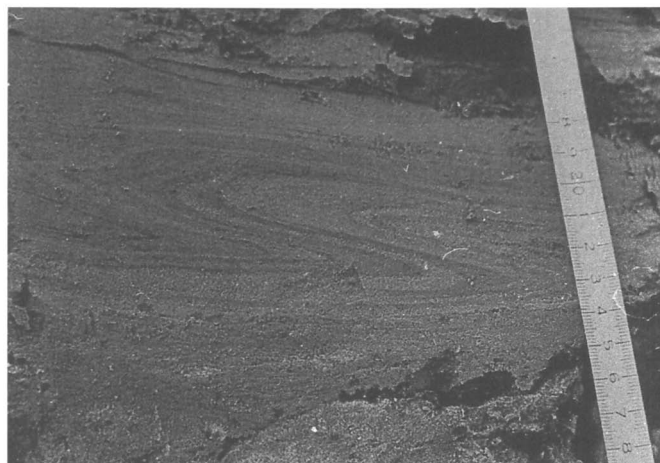
van de driedimensionale eigenschappen van de diverse typen glaciale faciës. Dankzij de enorme wandoppervlakken, die goed begaanbaar zijn omdat de graafmachines een soort terrasvormige afgraving volgen met terrassen van elk zo'n 15-30 m hoog (Afb. 8), is namelijk zowel horizontaal als verticaal een prachtig beeld te krijgen van de diverse faciësovergangen. Dankzij de voortgaande exploitatie heeft dat tweedimensionale beeld er bovendien in de loop der tijd een derde dimensie bijgekregen.

Het glaciaal-geologische en Kwartair-geologische onderzoek werd oorspronkelijk als een soort 'bijbaantje' verricht door de afdeling voor Toegepaste Geologie van de Universiteit van Wrocław (het vroegere Breslau), waar vooral veel werk werd verzet door de fysisch geograaf en Kwartair-geoloog Brodzikowski. Na diens vertrek naar de Universiteit van Łódź ontstond er aanvankelijk een samenwerkingsverband tussen beide universiteitssteden, maar de toegepaste geologen uit Wrocław lieten het Kwartair-geologische gedeelte uiteindelijk geheel over aan Brodzikowski.

Met hem heb ik er veel onderzoek verricht, maar dat kwam vrijwel tot stilstand nadat - de inmiddels hoogleraar geworden - Brodzikowski in 1994 was overleden. Gelukkig wordt het werk nu weer opgenomen vanuit de Universiteit van Sosnowiec, maar dat is slechts mondjesmaat. Er ligt dus nog een veldgebied van haast ongekende afmetingen braak voor de liefhebbers (die overigens slechts met moeite toegang zullen kunnen krijgen).

### Vergankelijk gebergte

Ieder gebergte is gedoemd op den duur te verdwijnen. Dat geldt ook voor wat ik het Belchatów-gebergte zou willen noemen. De exploitatie is in volle gang, waarbij ook op nog echt 'ouderwets-Poolse' wijze stug wordt doorgerukt: als de groeve eraan komt, moeten de dorpen wijken. Maar na hooguit enkele tientallen jaren zal de toch haast onvoorstelbaar grote massa bruinkool in de slenk zijn uitgeput. Het dan nog resterende 'dal' zal worden opgevuld



Afb. 7. Deformaties op centimeterschaal in een glaciolacustrien pakket met afwisselend zandige en siltige laagjes.

met de 'berg' van tijdelijk opgeslagen dekmateriaal, en het landschap zal - net als zoveel andere verdwenen gebergten - overgaan in een soort peneplain. Wie nu studeert, zal daarom waarschijnlijk niet tot zijn pensioen kunnen wachten om de ontsluiting zelf te aanschouwen. Mede met het oog op de betrekkelijk spoedige verdwijning van deze unieke locatie, zou mogen worden verwacht dat geologen vanuit de gehele wereld zich op deze ontsluiting zouden storten. Dat gebeurt echter niet. De officiële hindernissen (recht op toegang, aansprakelijkheid, etc.) vormen misschien niet eens de grootste hinderpaal. Want die is waarschijnlijk van psychologische

aard: wie de ontsluiting eenmaal zelf heeft gezien zal direct beseffen dat hij die - vanwege de afmetingen - nooit in zijn geheel kan leren kennen. En dan ook nog te bedenken dat de voortgaande graafwerkzaamheden steeds nieuwe vergezichten openen. Zo gaat (helaas) een unieke geologische goudmijn onder onze handen verloren.

Daaraan veranderen de vele tientallen publikaties die inmiddels zijn verschenen (en waaraan ik zelf tot mijn grote genoegen veel heb mogen bijdragen) nauwelijks iets. Verder is helaas veel literatuur

nauwelijks toegankelijk, doordat de meeste publikaties in het Pools zijn geschreven en vaak zijn gepubliceerd in slecht toegankelijke interne rapporten of betrekkelijk obscure geologische tijdschriften. Dat maakt de beschikbare Engelstalige literatuur echter nog waardevoller.

### Enige literatuur

Brodzikowski, K., 1995. Pleistocene glacial deposition in a tectonically active, subsiding basin: the Kleszczów graben, central Poland. In: Ehlers, J., Kozarski, S. & Gibbard, P.L. (eds.): *Glacial deposits of North-East Europe*. Balkema (Rotterdam), p. 361-385.

Brodzikowski, K. & Van Loon, A.J., 1991. *Glacial sediments (Developments in Sedimentology 49)*. Elsevier (Amsterdam): 674 pp.

Brodzikowski, K., Gotowa\_a, R., Kasza, K. & Loon, A.J. van, 1987. The Kleszczów Graben (central Poland): reconstruction of the depositional history and inventory of the resulting soft-sediment deformational structures.

In: Jones, M.E. & Preston, R.M.F. (eds.): *Deformation of sediments and sedimentary rocks*. Geological Society Special Publication 29, p. 241-254.

Gruszka, B., 1998. Conditions of deposition of Pleistocene glacio-lacustrine sediments in the Kleszczów Graben (central Poland).



Afb. 8. De graafmachines zorgen voor relatief gemakkelijk voor onderzoek toegankelijke "terrassen".

In: Ringberg, B., Lundqvist, J. & Mokhtari Fard, A., 1998. Program and Abstracts International Conference on Recognition of Abrupt Climate Change in Clastic Sedimentary Environments: Methods, Limitations and Potential (Stockholm, 1998): 2 pp.

---

## Bevroren gas de energiebron van de toekomst?

---

Er zit misschien wel genoeg energie om voor de nabije toekomst te voorzien in de behoefte aan brandstof voor de gehele aarde opgesloten in de modder op de bodem van de oceanen. Bevroren natuurlijk gas, geproduceerd door diepzee-bacteriën en opgebouwd over duizenden jaren, geeft ons misschien de mogelijkheid van een nog nooit aanbeoorde energiebron van enorme omvang. Misschien is deze energiebron de oplossing voor onze oprakende voorraden aan olie en gas, zo bleek begin september op het British Association Science Festival aan de Cardiff University in Engeland.

Ben Clennell, van de School of Earth Sciences van de Leeds University, Engeland, heeft een speciale studie gemaakt van dit methaanijs "gashydraat" ( $\text{CH}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ). Volgens hem geeft een redelijk conservatieve schatting aan dat er tweemaal zoveel energie zit opgesloten in dit ijshydraat, als in alle fossiele brandstoffen op aarde bij elkaar. Dit houdt in alle gas, olie en steenkool die tot nog toe verbruikt is en die in de toekomst nog zal worden verbruikt. De grote uitdaging ligt nu in het vinden van de plaatsten waar het ijshydraat het meest geconcentreerd is. Het is zoiets als bij het zoeken naar goud. Er komt een heleboel goud verspreid over de aarde voor, maar wij zijn alleen maar geïnteresseerd in aders of placers waar het aangerijkt voorkomt. Bevroren methaan komt voor in modder aan de randen van de continenten op een diepte van enkele meters beneden de oceaانبodem, in een laag van enkele honderden meters dik. Het is als afvalproduct geproduceerd door bacteriën die leven op, in en van het sediment. Onder deze laag zorgt de geothermische verwarming voor het smelten van het ijs en de vorming van gasbellen. Gashydraten worden gevonden op zowel lage als hoge breedtegraden. Er wordt aangenomen dat er geconcentreerde velden van het ijs

voorkomen nabij de Shetland Eilanden. De exploitatie van die gigantische voorraad aan gashydraat is een enorme uitdaging. Zowel de Verenigde Staten als Japan hebben al honderden miljoenen geïnvesteerd in de benodigde technologie. De geleerden hopen dat op korte termijn recht door de bevroren laag geboord kan worden om de gemakkelijk te winnen gasbellen te bereiken. Maar er zijn naast voordelen ook gevaren aan de gashydraten verbonden. Als de mondiale opwarming de temperatuur van de oceanen zover zou verhogen dat al het bevroren methaanijs smelt dan komt een enorme massa aan gas in de atmosfeer vrij. En methaan is een zogenaamd greenhousegas ofwel broeikasgas, dat 10x zo sterk is als het ons welbekende  $\text{CO}_2$  (koolstofdioxide). Dit vrijkomen uit de oceanen zou dan resulteren in zeer sterk versnelde opwarming van de aardse atmosfeer. Een ander gevaar ligt opgesloten in het feit dat het methaanijs is afgezet in lagen op de afhellende gedeeltes van de continenten naar de diepzee. Als deze lagen door welke oorzaak dan ook instabiel worden, zou dit kunnen resulteren in enorme submariene bodemverschuivingen. 7000 jaar geleden is er zo'n enorme aardverschuiving opgetreden voor de kust van Noorwegen als gevolg van instabiele gashydraat-afzettingen. Het gevolg was een vloedgolf, die de Shetland Eilanden voor een groot deel overstroomde. Dus hoewel deze afzettingen enorme mogelijkheden zouden kunnen bieden bij de oplossing van onze toekomstige problemen met het opraken van fossiele brandstoffen, zijn er ook de nodige vragen over de gevaren, die eerst beantwoord dienen te worden.

Dit artikel is gebaseerd op een persbericht van de Press Association en aanvullende gegevens van de Daily Mail, Londen en de Courier Mail, Brisbane.

Theo Klopprogge