
Mineralen en minerale grondstoffen van Polen

door Dr. Marek A. Zakrzewski,
Instituut voor Aardwetenschappen
Vrije Universiteit, Amsterdam

Algemene geologie van Polen

Polen ligt op de kruising van enkele grote geologische eenheden. Het noordoosten maakt deel uit van het Oost-Europese Precambriese Platform. Centraal Polen hoort bij het Paleozoïsche Platform van West-Europa. In het zuiden liggen de Karpaten, die de noordelijke grens van de Alpiene provincie vormen. De oostelijke grens van het Precambrium loopt vanaf Kopenhagen dwars door Polen naar de omgeving van Warschau en verder tot de Zwarte Zee. Het verloop van deze grens wordt gekenmerkt door een geofysische anomalie die bekend is als de Teissere-Tornquist lijn. In Polen komen geen ontsluitingen van Precambriese gesteenten voor, maar in tientallen boringen heeft men het Precambrium op diepten tussen 500 en 2500 m aangetroffen. Bovenop het Precambrium liggen Paleozoïsche en Mesozoïsche sedimentaire series. De Variscische (Hercynische) orogenese heeft de Sudeten en de Depressie van Boven-Silezië gevormd. De kern van de Góry Swietokrzyskie (Heilig Kruis Gebergte) bestaat uit oud-Paleozoïcum, vanaf Cambrium tot Devoon. De oude gesteenten zijn bedekt door Perm, Trias, Jura en Krijt; deze formaties zijn ontsloten in de Sudeten, in Góry Swietokrzyskie en in de Poolse Jura. Laatstgenoemd gebied is een uitgestrekte eenheid tussen Kraków en Czeszochowa. De Karpaten zijn gevormd door de Alpiene orogenese. Zie voor de geologische kaart de achterflap van dit Gea-nummer. De Poolse laaglanden zijn met epicontinentale sedimenten uit het Tertiair en glaciële sedimenten uit het Kwartair bedekt; deze afzettingen zijn enkele honderden meters dik. De bedekking van het grootste gedeelte van Polen door deze Cenozoïsche sedimenten heeft tot gevolg, dat mineralen en fossielen in de bergen of in kunstmatige ontsluitingen (mijnbouw!) gevonden moeten worden. De bespreking van mineralen en grondstoffen volgt een daarvoor praktische indeling van Polen in drie gebieden:

- A. Sudeten;
- B. Kraków en Boven-Silezië;
- C. Centraal- en Noord-Polen.

Minerale grondstoffen en mijnbouw

De mijnbouwindustrie in Polen heeft een lange traditie, die in de Steentijd begon met de ondergrondse ontginning van vuursteen in Krzemionki Opatowskie. Later zijn lokale ijzerertsen gesmolten in kuilovens. De mooiste voorbeelden daarvan zijn te zien in de omgeving van Rudki in Góry Swietokrzyskie, waar men de verweringsproducten van een pyriet-afzetting gebruikte. Zie voor de topografie de kaart op pag. 170. Ooit hebben vele Poolse mijnwerkers in de Limburgse kolenmijnen hun geld verdiend. Nu nog is de steenkoolmijnbouw de grootste werkgever van Polen, hoewel door het sluiten van minder rendabele mijnen steeds meer mensen hun werk zullen verliezen. In de Poolse mijnbouw werken tegenwoordig 400.000 mensen, die rond 10% van het BNP produceren. Het was en is nog steeds de belangrijkste bron van buitenlandse valuta. Naast steenkool

zijn koper, zilver en zwavel de belangrijkste exportproducten. De eigen productie dekt de behoefte aan elektriciteit (40% uit bruinkool, waarvan de helft uit een enkele mijn voor de elektrische centrale van Belchatów), lood, zink, zout en gips. Bouwmaterialen, zand, grind, basalt, graniet, andere gesteenten en grondstoffen voor cement zijn ook in voldoende mate aanwezig.

Genetisch gezien zijn de minerale grondstoffen van Polen gebonden aan zowel endogene als aan exogene processen, maar de sedimentaire afzettingen zijn de belangrijkste. Tot de **magmatische** grondstoffen behoren onder andere granieten en basalten. Magmatische cumulaten zijn aanwezig in de vorm van chromieterts in Tapadla. Titanomagnetiet-ertsen zijn ontdekt in anorthosieten in Suwalki. Pegmatieten kan men in het massief van Strzegom bestuderen. Subvulkanisch gouderts is bekend van Pieniny. Porfiritische molybdeen- en wolframertsen zijn recent gevonden tussen Kraków en Czeszochowa.

Hydrothermale afzettingen zijn vertegenwoordigd door barietaders van Stanisławów, goud en arsenopyriet van Złoty Stok, en door polymetallische ertsen met uraan van Kletno.

Het pyrieterts van Wieszciszowice is van **exhalatief-sedimentaire** oorsprong.

Verweringsertsen zijn van het lateriet-type en van de ijzerenhoed-formatie. De lateriet van Szklary is een klassieke nikkelertsafzetting met chrysopraas. Kaolinietafzettingen zijn ontwikkeld uit granieten en glimmerschisten. Een ijzerenhoed-formatie kan waargenomen worden op lood-zinkafzettingen van Boven-Silezië (Tarnowskie Góry, Bytom), en in Góry Swietokrzyskie (Rudki pyriet verwerings-zone). **Sedimentaire mechanische concentraties** van alluviaal goud is bekend van de omgeving Złoty Stok. De tinafzetting van Gierczyn is waarschijnlijk een gemetamorfoseerde cassiterietplacer.

Ook de belangrijkste voorkomens van barnsteen aan de kust van de Oostzee kunnen als alluviaal geklasseerd worden. Zand, grind, klei, zandsteen en schalies worden op verscheidene plaatsen ontgonnen.

Verreweg de belangrijkste groep van grondstoffen van Polen is chemisch-sedimentair van oorsprong. Van mondiaal belang zijn de koperertsen van het Lubin-district, lood-zinkertsen van Boven-Silezië, zwavelafzettingen van Tarnobrzeg en de steenkoolafzettingen van Boven-Silezië. Locale betekenis hebben de bruinkoolvoorkomens (Belchatów), gips (Gacki), zout (Wieliczka), en ijzerertsen (Czeszochowa). Ook de chemisch-sedimentaire gesteenten kalksteen en dolomiet worden op grote schaal ontgonnen en wel voor de cementproductie. Marmers zijn relatief zeldzaam (Kletno), maar een aantal kalkstenen wordt gebruikt als hoogst decoratief plaatmateriaal (Debnik bij Kraków en in Góry Swietokrzyskie).

A. Sudeten

Het Sudeten-gebergte verloopt in NW-ZO-richting en vormt de noordoostelijke grens van het Boheems Massief. Vanaf het noorden zijn de Sudeten begrensd door een 200 km lange breuk, soms waarneembaar in de morfologie. Deze breuk

scheidt de Sudeten van het Voor-Sudetisch Blok. In het zuiden zijn de Sudeten begrensd door de Lusatia Overschuiving. De NW-ZO richtingen van het geologisch kader van de Sudeten zijn van het jonge, Alpiene orogeen. Oudere Caledonische en Variscische bewegingen hebben een NZ-richting. De verschillende sedimentaire, magmatische en metamorfe gesteenten, variërend in ouderdom van Precambrium (Archaicum?) tot Kwartair, het overlappen van de verschillende orogenesen, de magmatische activiteit en polymetamorfose hebben een extreem gecompliceerd mozaiek van structurele eenheden opgeleverd. Op de geologische kaart (zie de achterkant van het omslag) is dat duidelijk te zien.

De koperafzettingen van Lubin

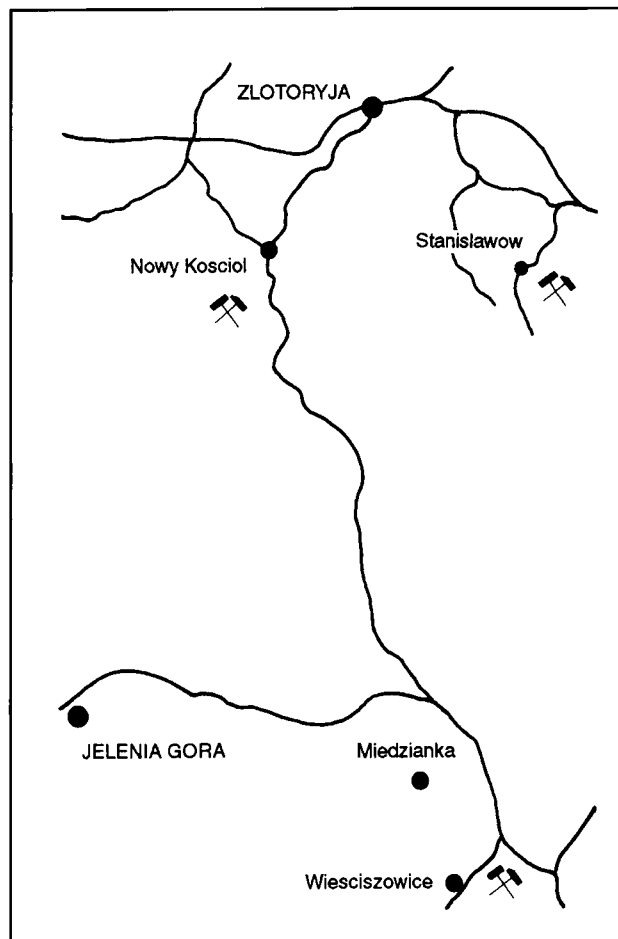
Deze afzettingen vormen de grootste koperreserves van Europa. Ze zijn van sedimentaire oorsprong en werden gevormd in pre- en intra-montane bekkens, tussen gesteenten van de Red-Beds serie (Rotliegende) en de zoutformatie van het Zechstein. De ertszone is opgebouwd uit grijze of witte zandstenen, grijze kalkstenen en dolomieten, en zwarte bitumineuze koperschalie (*Kupferschiefer*). Naast 0.5 tot 5% koper zijn accessorisch ook zink, lood, zilver, molybdeen, vanadium, germanium, gallium, goud, palladium, nikkel, kwik, kobalt en nog andere metalen aanwezig. De genoemde elementen komen in de Kupferschiefer 10 tot 1000 maal zo geconcentreerd voor als gemiddeld in de aardkorst. Deze rijkdom is te verklaren door het extreem reducerende milieu met tot 10% organische koolstof. Men denkt dat oude afzettingen van de Red-Beds serie de bron van de metalen zijn; deze ontstonden in een woestijnklimaat. In die sterk oxiderende omgeving zijn koper en de andere metalen mobiel, zodat de metaalverbindingen met behulp van grondwater naar zee werden getransporteerd. Sedimenten van de koperformatie ontstonden tijdens ingressie (een lokale transgressie) van de zee, toen de tektonische krachten tot rust waren gekomen. De bovenste sedimenten: dolomiet, gips, anhydriet en zouten, ontstonden bij verdamping van het water.

In het Lubin-district liggen vier actieve mijnen: Lubin, Polkowice, Rudna en Sieroszowice, op een gebied van 15 x 35 km. De koperhoudende schalies, dolomieten en zandstenen liggen monoclinaal tegen het Voor-Sudetisch Blok met een helling van ca 5° NO. Het ondiepste gedeelte bevindt zich in de Lubin-mijn op ca 600 m. In het noordelijke deel wordt erts op een diepte van 2000 m aangetroffen in boringen, maar met de huidige stand van de techniek kan slechts tot 1200 m worden ge-exploiteerd.

Mineralogisch gezien is het erts voor een ertsmineraloog bijzonder boeiend, maar teleurstellend voor de mineraalverzamelaar. Er zijn namelijk meer dan 100 ertsmineralen met microscoop en microsonde vastgesteld, maar vanwege de fijnkorreligheid zijn er maar een paar die men met het blote oog kan zien. De meeste kopermineralen hebben een diameter van minder dan 60 micrometer. Macroscopisch kan men in adertjes tot 5 mm dik de belangrijkste kopermineralen herkennen: chalcosien (Cu_2S), borniet (Cu_5FeS_4) en chalcopryiet (CuFeS_2). Zie kleurenfoto A-1. Mineralogisch interessant zijn ook adertjes met nickelien (NiAs), en dikke nesten van volledig transparante gips met centimeters-grote vloeistofinsluitels. In schalies zijn ook afdrucken van vissen gevonden.

De fijnkorreligheid van het erts maakt het noodzakelijk het ertshoudend gesteente tot fijn poeder te malen om aldus de ertsmineralen van het afval te scheiden. Met een gemiddeld gehalte van ca 2% Cu, komt bijna de volledige productie van de mijnen terecht als brei in een bekken van enkele km². Er is dus geen echte storthoop. Het concentraat van het verwerkingsproces bevat rond 18% Cu. Het wordt eerst in ovens gesmolten en dan elektrolitisch gezuiverd. Als bijproducten komen ook ca 1000 ton zilver en enkele tientallen kg goud vrij. In Poolse juwelierszaken is Pools zilver dan ook volop aanwezig.

De ertsafzettingen van het Lubin-district zijn pas ontdekt in 1957, in een omgeving waar geen ontsluitingen van Perm-



Kaartje A.

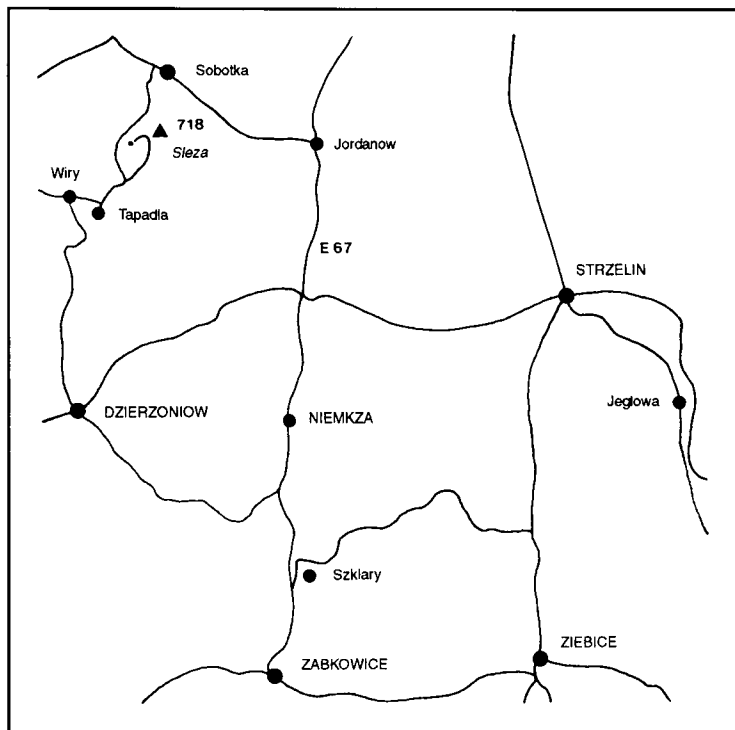
gesteenten aan de oppervlakte liggen. Om het Perm aan de oppervlakte te vinden moet men ca 25 km in zuidelijke richting naar Boleslawiec en Nowy Kosciol (kaartje A).

De koperafzettingen van Nowy Kosciol

Ook deze erts zijn van het Kupferschiefer-type, maar door het grotere gehalte aan carbonaten kan het erts beter omschreven worden als "kopermergel". De geologische verhoudingen zijn vergelijkbaar met de situatie rond Mansfeld ten oosten van het Harz-gebergte (het prototype van dit sedimentaire erts) en met de Lubin-afzettingen. Het erts is stratigrafisch strikt gebonden aan de overgang tussen de zandsteen van het Rotliegende en de mariene afzettingen van het Zechstein. De mijnbouw begon in de 16^e eeuw en duurde tot 1990. Er zijn nog steeds reserves van het kopererts, maar de rijkdom van het Lubin-district heeft de regio Nowy Kosciol buiten de economische orde gesteld. De jonge mensen hebben werk in Lubin gevonden, de ouderen zijn gepensioneerd. In de omgeving tussen Boleslawiec en Zlotoryja zijn vijf mijnen in productie geweest. Schachten en storthopen zijn nog de getuigen van deze activiteit. Ze wijzen ook de weg naar ontsluitingen van de Perm-gesteenten.

Goud wassen in riviertjes

Na een paar dagen in Polen heb je gemerkt dat de muntsoort *zloty* heet en dat *zloty* goud betekent. Dus als je een plaatsnaam ziet zoals **Zlotoryja** of **Zloty** Stok, dan denk je aan goudwinning. En terecht! In beide plaatsen is goud aanwezig. In de omgeving van Zlotoryja, Boleslawiec en Legnica wordt vanaf de 12^e eeuw op kleine schaal uit alluviale zanden goud gewassen. De gehalten zijn gemiddeld 0.2 g/t en lokaal 2.5-4.6 g/t. Dit is



Kaartje B-1

voor losse zanden een heel mooie concentratie, maar de beperkte hoeveelheid van het erts maakt het ontginnen onrendabel.

Geassocieerd met goud zijn ook andere zware mineralen: ilmeniet, magnetiet, rutiel, zirkoon, robijn, chrysoberyl en epidoot. Ze wijzen naar de granietmassieven van de Sudeten als bron van deze mineralisatie.

Wil je je geluk als goudzoeker beproeven, dan moet je een goed plekje aan de rivier Bóbr, Skora of Kaczawa zoeken, een pan vullen met zand, grote brokken eruit, en wassen maar! Als je dat doet door het draaien van de pan in het stromende water, dan worden de lichtere mineralen weggevoerd. Het bewijs dat je het goed doet is een zwart residu in je pan. En misschien er tussenin een klein (of groot) geel korreltje?

Agaat-vindplaats van Nowy Kosciól

In de buurt van Nowy Kosciól bevinden zich de vindplaatsen van de mooiste agaat van Polen. De voorkomens van agaat zijn gebonden aan melafieren en porfieren. Dit zijn gesteenten met holtes, die in een later stadium opgevuld kunnen worden met silica. Melafier is een eruptief gesteente met een samenstelling zoals basalt, porfier daarentegen heeft de samenstelling van granitisch magma. Agaat van Nowy Kosciól vormt geodes tot maximaal 20 cm groot, meestal minder, maar is opvallend mooi gekleurd. Kleurenfoto A-2.

Toegang en vondstmogelijkheden

Van het dorp Nowy Kosciól volg je weg No 370 richting Swierzawa. Na ca 2 km is er een onbewaakte spoorwegovergang. Even verder gaat een klein veldweggetje naar rechts, richting spoorlijn. Er zijn geen huizen en over een weiland zie je op een afstand van 100 m een ca 1 m breed stroompje en een onduidelijk pad. Je volgt het stroompje ca 500 m en let intussen op de stenen in het water en ook op de sporen van mineraalzoekers. De melafier is hier sterk verweerd en de geodes zijn los te vinden. Niet alle ronde keien bevatten agaat, maar het is onverstandig om dit met een hamer te controleren. Agaat, als het erin zit, barst dan net als glas in stukken. Je doet er goed aan om zo'n veelbelovende ronde steen door te zagen.

Ertsen uit ultrabasische complexen

De relatief kleine voorkomens van ultrabasische gesteenten in Polen bevatten, eveneens kleinschalige, afzettingen van grondstoffen die op regionale schaal echter voor zeldzame producten en werkgelegenheid zorgen. De metamorfe ontwikkeling van de regio heeft ertoe geleid dat de oorspronkelijke ultrabasische intrusieve gesteenten, zoals peridotiet en duniet, veranderden in serpentinieten. Dit gebeurde onder invloed van (auto)hydrothermale oplossingen, maar ook tijdens het verwerken in een tropisch klimaat. De kleine schaal van de mineralisatie heeft als voordeel dat men de belangrijkste geologische kenmerken op kleine afstanden van elkaar kan bestuderen. In combinatie met wandelingen op goed aangegeven toeristische routes is het de moeite waard er een paar dagen te vertoeven. Je kunt genoeg onderdak vinden in hotelletjes, maar ook in de vakantiehuizen van grote ondernemingen. Een bijzonder pittoresk huis, van de vroegere eigenaar van een brouwerij in Sobótka, is nu ingericht als vakantie- en werkhuis van de Poolse Akademie van Wetenschappen. Het biedt goede kamers en heeft een gezellige bar. Maar ook Zloty Stok, Zabkowice of Dzierzoniów hebben hotels. In de bergen, tegen de Tsjechische grens, liggen bekende kuuroorden (*zdrój*) met geneeskrachtige bronnen, die voor baden en als drinkwater gebruikt worden. Voorbeelden zijn Kudowa, Duszniki, Polanica en Ladek (ca 15 km van de Kletno-uraniummijn). Er is ook geen gebrek aan campings en andere slaapplegheden.

Szklary: nikkelertsen en chrysopraas

De Ni-silicaatertsen van Szklary (vroeger Frankenstein) in het zuidwesten van Polen behoren tot het Nieuw-Caledonië-type. De geschiedenis van de mijnbouw in deze streek begon met het ontdekken van chrysopraas, dat als losse stukjes in de grond gevonden werd, vooral na zware regenbuien. Zie kaartje B-1 en kleurenfoto A-3.

Chrysopraas

Chrysopraas is een appelgroene halfedelsteen, een variëteit van groene chaledoon of cryptokristallijne kwarts, gekleurd door fijne inclusions van nikkel-silicaten. Met de elektronenmicroscopie ziet men de poreuze structuur van chaledoon of opaal.

De NiO-gehalten bedragen tussen 0.2 gewichts% in de lichtgroene variëteit, tot 1 gew.% in de donkergroene (waardevollere) kwaliteit. Door verhitten tussen 100 en 800°C raakt chrysopraas water, en ook zijn kleur, kwijt. Zon en hoge temperatuur zijn schadelijk. De kleur komt terug na een waterbad van een paar dagen, vooral in het donker.

In 1740 zijn primaire chrysopraasaders gevonden, die vanaf die tijd geëxploiteerd worden, ook ondergronds. De chrysopraasaders hebben een dikte van enkele centimeters tot 30 cm, en kunnen tot 5 m vervolgd worden. Tot het begin van de 20^e eeuw was de afzetting van Szklary het enige belangrijke chrysopraasvoorkomen ter wereld en leverde deze de beste kwaliteit stenen. In de 18^e eeuw was de steen zo duur, dat deze in ringen en armbanden als centrale steen gezet werd, omringd door diamanten. Tegenwoordig is Australië met ca 10 ton per jaar de grootste producent. Prijzen voor materiaal van hoge kwaliteit zijn 250-400 \$/kg, dus ook namaak is aantrekkelijk. Vervalsing door kleuring met chroomzouten kan gemakkelijk ontdekt worden, maar door nikkel gekleurde chaledoon of opaal niet.

In 1880 herkende A. Reitsch, een mijnbouwingenieur die gewerkt had in de mijnen van Nieuw-Caledonië, de nevengeestenen van de chrysopraas in Szklary als nikkelertsen en begon met de exploitatie. Sinds de Tweede Wereldoorlog worden de nikkelertsen in een bovengrondse groeve ontgonnen en metallurgisch verwerkt (het aardachtige karakter van de nikkelertsen staat geen mechanische aanrijking toe). Als bijproduct werd 4 ton chrysopraas per jaar gewonnen.

De dikte van de verweringszone hangt af van de tektoniek; in breukzones is hij soms tot 100 m dik, maar gemiddeld 4 tot 30 m. Het verweringsproces vond plaats in het Mioceen, toen er een tropisch klimaat heerste. In de bovenste (rode) zone van enkele meters is ijzer geconcentreerd tot 12-18 %. Naar beneden toe verandert de kleur in grijs en groengrijs door de aanwezigheid van groene nikkel-silicaten. Het erts van Szklary bevatte gemiddeld 0,7 gew. % Ni met een cutoff van 0,4 %. Uit het erts werd ferronickel met 10 % Ni en 90 % Fe geproduceerd. Van deze legering zijn tot in de jaren '80 Poolse munten geslagen. De productie van 2000 ton/jaar dekte 5 % van de behoefte. Het ontstaan van economische concentraties van nikkel is te danken aan het lateritische verweringsproces van ultramafische gesteenten. Lateritisatie vindt plaats in een tropisch-humide of subtropisch klimaat, dat gekenmerkt wordt door scherp gescheiden droge en natte tijden. Uit het oorspronkelijke gesteente is vrijwel alles uitgeloozd behalve Al, Fe³⁺, Mn en Ni, die in de vorm van hydroxiden ter plaatse neergeslagen zijn. In dunietsen vervangt nikkel magnesium en ijzer in de olivijn (ca 0.1 gew. %); in de serpentijnmineralen is Ni door serpentinisatie aangerijkt tot ca 0.2 gew. %. Tijdens verwerking van serpentijn worden waterhoudende nikkel-silicaten gevormd met tot 30 gew. % Ni. Parallel met Ni worden ook Fe, Mg en silica (SiO₂) mobiel. In aanwezigheid van CO₂ kan dan magnesiet (MgCO₃) in de vorm van anders ontstaan, terwijl Fe magnetiet en goethiet vormt, en de silica chalcedoon, opaal of chrysopraasaders doet ontstaan.

Macroscopisch worden talkachtige *schuchardiet* en porseleinachtige *pimeliet* (van het Griekse *pimele* = *vettig*) onderscheiden. Mineralogisch zijn dat echter geen geldige namen.

Schuchardiet is een Ni-houdende clinochloor

(Mg,Fe,Ni)₅Al(Si₃Al)O₁₀(OH)₈,

of Ni-rijk vermiculiet (Mg,Fe,Al,Ni)(Al,Si)₄O₁₀·4H₂O.

Pimeliet is een Ni-rijke keroliet (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂·4H₂O.

Kleurenfoto A-4.

Garnieriet is een algemene benaming voor waterhoudende Ni-rijke silicaten; meestal is dat Ni-antigoriet (Mg,Ni,Fe)₃Si₂O₅(OH)₄. Kleurenfoto A-4.

Toegang en vondstmogelijkheden

De voormalige open pit mijn en de verwerkingsfabriek liggen direct aan de N8-weg (E67) in Szklary, ca 5 km ten noorden van Zabkowice. Ze werden gesloten in 1988, nu zitten er in de oude fabrieksgebouwen kleine bedrijfjes. Een oude beveiligingsloge is nog steeds bemand, maar niemand verhindert je om de storthopen en ontsluitingen te bezoeken. Word je toch aangehouden en niet binnengelaten, dan moet je even 500 m verder langs de weg in noordelijke richting gaan, daar kun je wel naar binnen. Tijdens mijn laatste bezoek (april 1997) heb ik aardige stukjes chrysopraas, stukjes Ni-silicaten en door witte magnesiet geaderde serpentijn gevonden.

Er zijn oude mijnwerkers die verzamelingen van lokaal materiaal hebben. Tijdens een bezoek aan een privé-huis heb ik naast bovengenoemde mineralen ook prachtige stukken groene opaal gezien. Adressen kun je bij de toegangspoort of in de kiosk, net eronder, vragen. De auto kun je het best op de parkeerplaats bij de kiosk/bar achterlaten. Op het terrein bevinden zich horizontale gangen (*stollen*), en veel gevaarlijke verticale schachten. In 1996 zat een (geologie)student 29 dagen in zo'n schacht, nadat zijn lijn naar beneden gevallen was. Het is een wonder dat hij levend en wel gevonden werd. Het is uitgesloten dat je in de ondergrondse mijngangen iets beters vindt dan aan de oppervlakte. Daarentegen zijn de wanden van de open pit stabiel en je hebt er goed licht.

Op mineraalbeurzen wordt soms chrysopraas aangeboden.

Wiry, Grochowa en Braszowice: magnesietafzettingen

Tijdens het zoeken naar nikkel-ertsen in andere serpentijnmassieven in Polen zijn alleen vrij kleine voorkomens van nikkel gevonden, maar wel relatief grote magnesiet-afzettingen. Magnesiet (MgCO₃) wordt in een aantal mijnen ontgonnen. Ze liggen in de serpentijnmassieven van Sobótka, en in de beurt van Zabkowice. Witte magnesietaders van 0.2 tot 2 m dikte vormen een spectaculair contrast met de grijsbruine serpentijn. Magnesiet wordt gebruikt voor vuurvaste materialen, als component van Sorel cement (gebruikt als kit voor glas en metaal en als bindmiddel voor schuurmaterialen) en als kunstmest. Genetisch wordt het ontstaan van magnesiet in relatie gebracht met de omzetting van oorspronkelijke peridotiet en de formatie van serpentijn. Het vormen van magnesiet uit de vrijgemaakte Mg van olivijn of serpentijn is waarschijnlijk gebonden aan hydrothermale activiteit (CO₂-toevoer).

Toegang tot de actieve mijnen is mogelijk, mits in overleg met de bewaking. Verlaten mijnen worden niet bewaakt. Mijn laatste bezoek was in mei 1988.

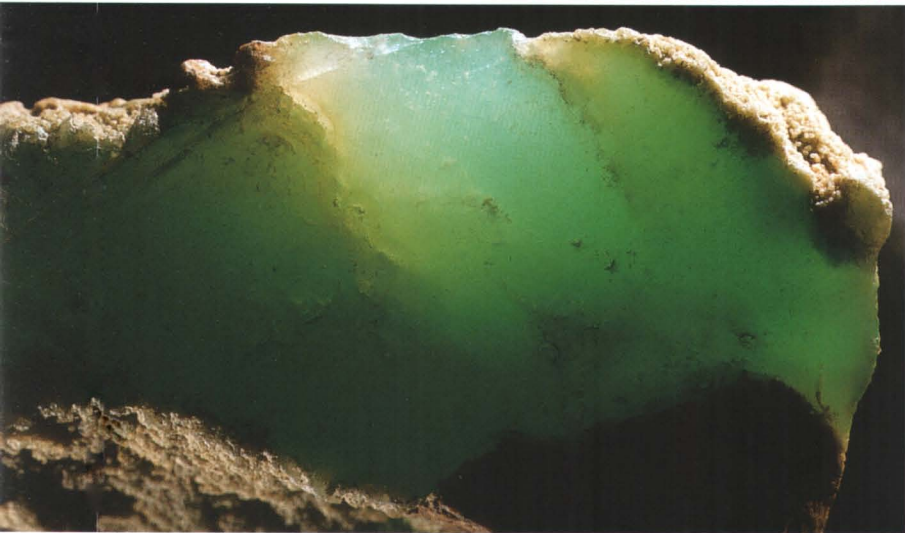
Tapadla, een chromiet-mijn

Dit kleine voorkomen is gelegen in een oud loofbos van het Sleza-massief. Kaartje B-I. Chromiet komt voor in serpentijn, een product van hydrothermale omzetting van een peridotiet/duniet-intrusie. De ertslichamen hebben een uitgerekte, sigaarachtige, vorm. Er zijn 13 nesten gedocumenteerd, variërend in afmetingen van enkele meters tot 24 m.

Mijnactiviteiten vonden plaats tussen 1877 en 1890, en tijdens de beide Wereldoorlogen. Chromiet komt voor in drie texturen: 1) als **massief erts** met meer dan 50 volume % chromiet, vergroei met serpentijn, carbonaten, chlorieten, vermiculiet en talk, 2) als **druivenerts** – in bolletjes tot 10 mm in serpentijn en 3) als **gedissemineerd erts** in 1 mm grote kristalletjes in serpentijn. Chromietkorrels zijn zonair: het centrum heeft een samenstelling van aluminium-chromiet, rood doorschijnend in dunne flinters, de randen zijn opak met een samenstelling van ferriet-chromiet (voor het eerst van hier beschreven). Het ontstaan van chromiet is gebonden aan magmatische gravitatievrije differentiatie: chromiet kristalliseert als eerste en bezinkt in het

Bijchriften bij de kleurenfoto's

- A-1. Kupferschiefer met borniet** (o.a. twee blauwe banden), chalcopyriet en covellien. Afm. 13 x 21 mm. Herkomst: Lubin, Sudeten. Boven, links.
- A-2. Agaat in porfirisch gesteente.** Afmeting van de ster: 12 x 12 cm. Nowy Kosciól. Boven, rechts.
- A-3. Chrysopraas.** Afm. 46 x 27 mm. Szklary. Collectie W.J. Lustenhouwer. Midden, links.
- A-4. Garnieriet** (grootste brok, dit meet 25 x 16 mm), en pimeliet (twee brokjes), van Szklary. Midden, rechts.
- A-5. Epidootlatjes op rookkwarts (donker) en blokvormige veldspaat.** Afm. 13 x 20 mm. Strzegom-graniet: Zólkiewka-groeve. Collectie W.J. Lustenhouwer. Onder, links.
- A-6. Chabasiet** (oranje), een zeoliet, en kwarts, op veldspaat. Afm. 8 x 12 mm. Strzegom-graniet: Zólkiewka-groeve. Collectie W.J. Lustenhouwer. Onder, midden.
- A-7. Pyrolusiet**, zwart mangaanoxide, niervormig, concentrisch opgebouwd, op glasheldere bariet. Afm. 17 x 26 mm. Stanislawów. Onder, rechts.



magma. Tektonische bewegingen hebben gezorgd voor de sigaarvorm van de ertslichamen.

Toegang en vondstmogelijkheden

In de buurt van de oude schacht ligt een storthoop met chromieterts in blokken tot 30-50 cm groot (mei 1988). De mijn ligt op de zuidelijke hellingen van de Sleza-berg, die een belangrijke positie in de geschiedenis van de regio inneemt. De naam duidt volgens het Oud-Slavisch op "motregen" en zou de naam hebben gegeven aan Silezië (Slesk = Silezië). De berg (718 m) vormt een duidelijke, geïsoleerde elevatie van ca 500 m boven het omringende terrein. Vanaf 1300 BC was de berg een belangrijk centrum van Oud-Slavische religie, X-tekens op stenen duiden op een sanctuarium van God en van de Zon. Tegen de officiële religie in werden hier tot in de Middeleeuwen religieuze en misschien ook politieke bijeenkomsten gehouden.

Jordanów: een nefrietmijn

De eerste berichten over nefriet uit Silezië zijn uit de tijd van Linnaeus. In 1885 werd het voorkomen in Jordanów ontdekt. Nefriet wordt gewonnen tijdens het mijnen in een groeve van serpentieniet voor de wegenbouw. Nefriet vormt een tot 1,5 m dikke zone tussen leucocristische (lichte) gesteenten en de serpentieniet. Om relatief grote blokken zonder barsten te verkrijgen wordt een traditionele methode gebruikt: in spleten rond nefrieten worden houten wiggen geslagen en vervolgens nat gehouden. Daardoor zwellen de wiggen zodanig op dat de grote blokken gemakkelijk los komen. Soms wordt ook rondom geboord of gebruikt men ladingen van "zwart kruit". Een blok nefriet van 2140 kg is te bewonderen in het Metropolitan Museum in New York.

Nefriet is een variëteit van actinoliet en tremoliet en bevat inclusions van andere mineralen als magnetiet, chromiet en

zoisiet. Kenmerkend is de donkergroene kleur en fijnvezelige, viltachtige structuur met als gevolg een bijzondere taatheid en slagvastheid. Men beweert dat een hydraulische pers het begaf tijdens een poging om een stuk nefriet te kraken. Nefriet (hardheid 6-7) is wel gemakkelijk te zagen. Het polijst goed en wordt in de Chinese cultuur hoog gewaardeerd, ook als medicijn en als amulet tegen nierziekten (vandaar *lapis nephriticus*!). Tot 1863 heeft men geen onderscheid tussen nefriet (een amfibool) en jade (een pyroxeen) gemaakt of kunnen maken, en in de handel worden beide mineralen doorgaans jade genoemd.

Voorwerpen van nefriet uit Jordanów, vaak gecombineerd met zilver, kun je vinden in lokale winkels. In de geologische literatuur zijn acht vindplaatsen in de Sudeten bekend. Een bijzondere vondst was een blok nefriet van 9 kg, dat in 1900 tijdens een herbestrating in Wrocław tussen glaciële keien ontdekt werd. Macroscopische kenmerken en mineralogisch onderzoek, zoals bijvoorbeeld naar de aanwezigheid of het ontbreken van epidoot, bewezen dat het blok niet afkomstig is van een bekend voorkomen in de Sudeten, maar waarschijnlijk een zwerfsteen is uit een afzetting ten noorden van Wrocław.

Toegang en vondstmogelijkheden

De serpentienietgroeve is gelegen op een heuvel in Naslawice, ca 2 km ten noordwesten van Jordanów Slaski op de weg naar Sobótka. Kaartje B-I. In overleg met de bewaking mag je wel naar binnen. Het nefriet komt voor in de westwand van de groeve, tussen het witte gesteente en de serpentieniet. Pas op! Een poging om een stukje nefriet los te slaan kan je je hamer kosten. (Bezoek in 1988).

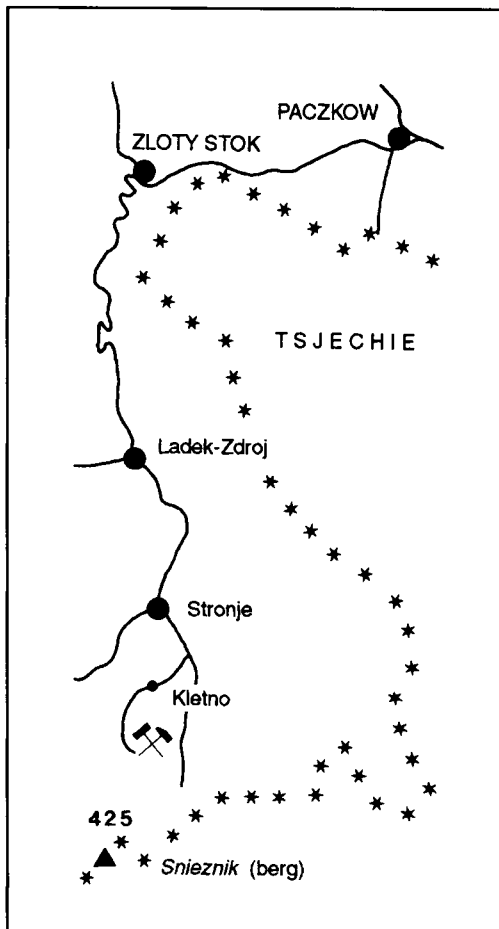
Kletno: storthoop van uraniummijn en de Niedzwiedzia-grot

Bij Kletno is een polymetallische sulfiden- en selenidenafzetting met magnetiet, uraniniet, amethyst en fluoriet. Kaartje B-II. De magnetietlens ontstond aan het contact tussen kalksteen (marmer) en gneis. In de tot 5 m dikke magnetietzone vond men nesten tot 40 cm van uraniniet. Uraniniet is een mineraal dat zeer sterk op oxidische mangaanmineralen lijkt, door de kleur en de nierachtige structuur. Deze structuren ontstaan door verouderingsprocessen van een gel. Dit is een gele-achtige massa waarin bij uitdroging krimp en radiale scheuren ontstaan die, net als in septariën, opgevuld kunnen worden door jongere mineralen. In Kletno zijn dat seleniden, sulfiden en secundaire uraniummineralen. Van de seleniden het meest opvallend is bohdanowicziet ($AgBiSe_2$), dat hiervandaan beschreven is. Het magnetieterts ging in de diepere delen over in kwarts - fluoriet, die eveneens ontgonnen werd.

Toegang en vondstmogelijkheden

In de mooie omgeving ligt een aantal kuuroorden. De toegang tot de oude storthoop is vrij. Tijdens ons bezoek in 1986, drie weken na Tschernobyl, hebben wij met geigertellers van alles gemeten. Op de storthoop zelf werd geen verhoging van straling waargenomen, maar op een morfologisch lager gelegen weiland werd een duidelijke radioactieve anomalie gemeten. Uranium is mobiel in de oxiderende omgeving van de storthoop. De opgeloste resten van uraniummineralen zijn vervolgens met het regenwater afgevoerd en in het reducerende milieu van het weiland met donkere, rijke grond afgezet en geïmmobiliseerd. Op de storthoop kan men magnetiet, amethyst (in de vorm van opmerkelijke kappenkwarts), en fluoriet vinden. De fluoriet is donkerpaars, een kleur die kenmerkend is voor de nabijheid van uraniummineralen. Deze kleur lijkt veel op die van amethyst. Het marmer van Kletno wordt in een groeve gemijnd en heeft als productnaam "groene Marianna".

In het marmer ontstond ook een grot. Bij het verkennen hiervan bleek dat deze bewoond was door beren. De grot werd dan ook Niedzwiedzia-grot genoemd (*niedzwiadz* betekent beer). De grot is voor publiek toegankelijk.



Kaartje B-II

Het granietmassief van Strzegom

In het Strzegom-massief is een aantal groeven in productie. Het gaat om een biotietgraniet die vrij grofkorrelig is – een kenmerk dat onderscheid mogelijk maakt met het fijnkorrelige Strzelin-graniet. Voor een mineraloog is de Strzegom-graniet een zeer interessante vindplaats (gelegen tussen Legnica en Swidlica, WZW van Wroclaw). In het bijzonder in de talrijke open ruimtes van de pegmatietaders is er plaats voor mooie kristalgroepen. Daarbij komt ook de verscheidenheid aan mineraalsoorten: in de literatuur zijn rond 100 mineralen beschreven. Een deel hiervan komt voor in slechts zeer kleine hoeveelheden of als microscopische korrels. Een van de karakteristieke mineralen is chloriet, het vroegere strigoviet, genoemd naar Strzegom.

Toegang en vondstmogelijkheden

Morion (zwarte ondoorzichtige kwarts) en rookkwarts uit de Strzegom-graniet behoren tot de mooiste van Europa. Vooral de vergroeiingen met amazoniet (groene veldspaat) zijn spectaculair. De donkere kleur van rookkwarts en morion is veroorzaakt door beschadigingen in het kristalrooster door straling. Door verwarmen wordt de kwarts kleurloos of neemt het de kleur van citrien aan. Recent is in Strzegom een nest met in totaal duizend kilo rookkwarts gevonden, de kristallen tot 40 cm lang. Kleinere nesten met kristallen van veldspaat, kwarts, epidoot (kleurenfoto A-5), chloriet, calciet, fluoriet, zeolieten (kleurenfoto A-6) en diverse andere mineralen vind ik bij elk bezoek, zelfs als dat maar 2 uur duurt (voor het laatst in 1997). Van de mineralen die ik zelf niet gevonden heb, maar die in de literatuur beschreven zijn, noem ik blauwe beryl tot 7 mm, apatiet en "edel"granaat tot 10 mm.

Het is zeer de moeite waard om een rondleiding mee te maken door de verwerkingsafdeling met diamantzagen tot 6 m doorsnee. Hiervoor en om toegang te verkrijgen tot een van de actieve groeves (afb. 1) is het noodzakelijk je te melden bij de directie (voor alle groeves in Strzegom: ul. Dworcowa 2). Er is op dat adres ook een kleine bedrijfstentoonstelling.

Jeglowa: bergkristal

In Jeglowa komt kwarts voor in kaoliniet. Dit zachte materiaal maakt het gemakkelijk om de kwarskristallen uit te prepareren zonder het gebruik van zwaar gereedschap, dat zo vaak tot beschadigingen leidt. Jeglowa ligt ten ZO van Strzelin (kaartje B-1). In een aantal groeves worden hier kwarts-schisten ontgonnen. Nesten van kaoliniet, samen met idiomorfe kwarskristallen, worden beschouwd als afval en op de storthoop gedumpt. De kwarskristallen zijn kleurloos en waterhelder. Dubbeleinders zijn relatief zeldzaam maar worden toch regelmatig gevonden. Interessante vergroeiingen zijn ontstaan als op gebroken kristallen kwarts van een jongere generatie is aangegroeid.

Wiesciszowice: pyrietmijn (verlaten open pit)

Deze ertsafzetting is gebonden aan metamorfe gesteenten rond het Karkonosze-granietmassief (kaartje A). De mineralisatie komt voor in een 200 m dikke en 4 km lange serie van chloriet-sericiet-schisten. Chloriet, sericiet en kwarts zijn de hoofdmineralen; epidoot, orthoklaas, plagioklaas, biotiet en andere zijn accessorisch. Ertsen met 12 tot 18 gew.% zwavel vormen tot 3 m dikke *fahlbands*.

Fahlband is een relatief arm, gedissemineerd voorkomen van sulfiden, in zones die de strekking van schisten of andere metamorfe gesteenten volgen. Het Duitse *Fahl* betekent roestbruin, duidend op de kleur van geoxideerde ontsluitingen. De eerste beschrijvingen van *Fahlbands* kwamen uit het Kongsberg-district in Noorwegen. Het zijn zones tot enkele kilometers lang en van decimeters tot meer dan honderd meter breed. Bij het karteren in metamorfe gebieden worden de *fahlbands*, door de opvallende kleur, als gids-horizonten gebruikt.



Afb. 1. De Strzegom-graniet wordt al in de groeve tot blokjes verwerkt. Foto: Koen Hos.

In de jaren 1852-1925 zijn 200.000 ton concentraat met 47 gew.% zwavel ontgonnen voor de productie van zwavelzuur. De concurrentie van de Spaanse massieve pyriet-ertsafzettingen van het RioTinto-type heeft tot sluiting van Wiesciszowice geleid. Dumps en een enorme open pit met karakteristiek bloedrood water zijn overgebleven.

Het hoofdmineraal was pyriet in de vorm van 0.1 tot 6 mm grote idioblasten. Er zijn relictten van collomorfe (van colloïdale oorsprong) texturen gevonden. De kristallen zijn grotendeels kataklastisch gebroken, en soms opgevuld met sporenmineralen zoals sfaleriet, galeniet en chalcopyriet. Een ander type mineralisaties (evenmin economisch) zijn kwartsaders van 5 tot 30 cm dik met een polymetallische mineralisatie van Cu-Zn-Pb-sulfiden. Het voorkomen van antimoon-mineralen (tetrahedriet, bournoniet, jamesoniet en boulangeriet) en de afwezigheid van As- en Bi-mineralen is typerend, niet alleen voor deze ertsafzetting maar ook voor andere gemetamorfoseerde pyriet-ertsafzettingen (Bergslagen, Zweden). De exhalatief-sedimentaire genese van dit type ertsafzettingen wordt overal geaccepteerd. In de Sudeten zijn zij met submariene geosynclinaal basaltisch magma geassocieerd. De concentratie aan sporenelementen was te laag om rechtstreeks eigen fasen te vormen, en waarschijnlijk waren ze aan metacolloïdaal FeS₂ gebonden. Vervolgens heeft de kristallisatie van pyriet tijdens de metamorfose tot een relatieve concentratie van Cu-Zn-Pb en Sb en tot mobilisatie van deze elementen geleid (in het rooster van pyriet kan slechts een beperkte hoeveelheid van andere elementen zitten). In deze situatie konden eigen fasen (mineralen) van sporenelementen ontstaan.



Zwavelhoudende grondstoffen

Zwavelhoudende grondstoffen worden voornamelijk gebruikt voor de productie van zwavelzuur, dat weer grotendeels gebruikt wordt bij de productie van fosforhoudende kunstmest. Zwavelzuur kan worden gemaakt uit:

1. gedegen zwavel. Exploiteerbare afzettingen van gedegen zwavel zijn gebonden aan sedimentaire series met gips en kalksteen. Ondergeschikt zijn voorkomens gebonden aan vulkanische activiteit. Sedimentaire afzettingen ontstaan in een milieu analoog aan dat van zoutafzettingen. De bekendste voorkomens zijn: Sicilië, Louisiana en **Tarnobrzeg** in Centraal-Polen. De klassieke afzettingen op Sicilië zijn gevormd in randzones van voorgebergte-slenken. In Louisiana komt gedegen zwavel in zout-diapiren voor, ze worden als epigenetisch beschouwd. Het Sicilië-type is syngenetisch. Tot dit type horen ook de Poolse Mioceen-afzettingen.

2. sulfiden. Pyriet (FeS_2 met 53,4 gew.% S) en pyrrhotien (Fe_{1-x}S met 38,4 gew.% S) zijn de meest voorkomende sulfiden, die verder geen andere toepassing hebben, ze zijn **geen** ijzererts! Ook Cu- Zn- en Pb-sulfiden worden steeds meer gebruikt (vaak dankzij de milieuwetgeving) als grondstof voor zwavelzuur. De verbranding van sulfiden is een exothermaal proces en kan gebruikt worden, zoals in de Rio Tinto-pyrietgordel, als bron van warmte voor metallurgie van koper en zink en het opwekken van elektriciteit.

3. elementair zwavel uit olie en gas wordt geproduceerd tijdens het zuiveren van olie en gas (ontzwaveling) en ontstaat door oxidatie van H_2S , de hoofddrager van S, dat om zijn giftigheid en sterk corrosieve eigenschappen verwijderd moet worden. De zuiveringskosten zijn trouwens hoger dan de prijs van zwavel (ca 60 \$/ton).

4. sulfaten: gips en anhydriet. Het watervrije anhydriet is waardevoller dan gips, maar het grote aanbod van goedkoop elementair zwavel maakt het gebruik van sulfaten niet meer economisch.

Gierczyn: tinvoorkomen (storthoop)

De Gierczyn-mijn ligt in een gordel van laaggradige tin-mineralisatie in het Kamienica-district. Het is een 40 km lange afzetting, bekend vanaf Nove Mesto in Tsjechië tot Stara Kamienica. In Polen ligt 20 km van deze ertsafzettingen, die vanaf de 16^e eeuw af en toe in productie zijn geweest. Tijdens de Tweede Wereldoorlog zijn er twee mijnen geweest, die kobalt/kopererts en tinerts exploiteerden. Recent is deze zone nog een keer onderzocht, vooral om de concentratie van goud vast te stellen, maar dat viel tegen. Er zijn wel reserves van 6 mln ton erts met 0,2% tin vastgesteld. Cassiteriet (SnO_2) en de andere ertsmineralen komen voor in chlorietschisten met donkere, tot 2 cm grote granaatkristallen. Door de zachtheid van het gesteente kon men de idiomorfe kristallen ontsluiten. De meest gangbare opvatting over het ontstaan van de afzetting is, dat deze een gemetamorfoseerde placer is. Dus men veronderstelt dat cassiteriet geconcentreerd was aan een strand of in een rivier, en later metamorfose onderging. Gierczyn ligt ten W van Jelenia Gora.

Zloty Stok: goud en arsenopyriet (oude mijngang)

Zloty Stok (vroeger Reichenstein) was lange tijd een belangrijke goudproducent (kaartje B-II). In de periode 1481-1738 won men bijna 9 ton goud. Het goud is geassocieerd met löllingiet: FeAs_2 (Au tot 30 g/t) en arsenopyriet (FeAsS). Van deze mineralen heeft men arseen eerst als bijproduct en later als hoofdproduct gewonnen (vergift tegen ongedierte). Het in productie nemen van de Boliden mijn in Zweden heeft voor een prijsdaling van arsenicum gezorgd, met als gevolg de sluiting van de Zloty Stok mijn.

Na de oorlog heeft men nog pogingen gedaan om nieuwe, goudrijke ertsen te vinden, maar tevergeefs. De productie van maar enkele kilogrammen goud per jaar woog niet op tegen de kosten van het mijnen.

Toegang en vondstmogelijkheden

Zloty Stok is een pittoresk stadje in de bergen. Een deel van de mijn kon met horizontale gangen (*stollen*) ontsloten worden. Deze gangen zorgden voor ventilatie en ontwatering. Als toeristische attractie is in 1996 een deel van de mijn toegankelijk gemaakt. Men moet zich voor ondergronds bezoek aanmelden bij de secretaresse van de burgemeester (*Burmistrz*). Mineralen: löllingiet, arsenopyriet en pyrrhotien kan men op de storthopen vinden. Goud was of is "onzichtbaar" aanwezig als micrometerkleine korreltjes in arseenmineralen. Als nevengeesteente vindt men zwarte serpentieniet, dolomiet en skarn (contactgesteente met diopsied en tremoliet. Deze groene silicaten kunnen spectaculaire radiaalstralige texturen vertonen). Zoals bij vele oude mijnen is er ook hier een legende over een verborgen schat. In de laatste dagen van de Tweede Wereldoorlog zou een volledige trein met kunst en goud verdwenen zijn en verborgen in de mijn. Als dat waar is, dan kunnen alleen de (horizontale) *stollen* als schuilplaats in aanmerking komen.

Stanisławów: barietmijn

In Polen komt bariet veel voor in de Sudeten en in Góry Swietokrzyskie, maar alleen in Stanisławów wordt nog gemijnd. Kaartje A. Er is daar een goed voorbeeld van een hydrothermale ader die ontstond door mineraalvulling van een tektonische breuk.

Bijschriften bij de kleurenfoto's

- B-8. Galeniet-kristallen**, met octaeder- en kubusvlakken, en bolletjes van sfaleriet (links). Afm. 14 x 22 mm. Trzebieńka-mijn. Boven, links.
- B-9. Galeniet-kristal** met grote octaedervlakken, met de hoekpunten beëindigd door kubusvlakken. Deze zijn gedraaid ten opzichte van de basis van de octaeder. Lengte van de octaeder-ribben: 20 mm. Trzebieńka-mijn. Boven, midden.
- B-10. Schalenblende.** Microkristallijne en mogelijk amorfe sulfiden van zink, lood en ijzer. Gele band: sfaleriet; bruine bandjes: kleurverschil in sfaleriet: donker is fijnkorrelig; groot blauwgrijs kristal en idem band: galeniet; buiten de galeniet: markasiet (pyrietkleur). Afm. 60 x 38 mm. Herkomst: Olkusz. Boven, rechts.
- B-11. Galeniet (PbS)**, grijs, gedeeltelijk omgezet in lichtgekleurde, niet-transparante cerussiet, PbCO_3 (de matrix van het erts is dolomiet: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Het grote cerussietkristal is een zesling. Afm. 17 x 13 mm. Trzebieńka-mijn. Midden, links.
- B-12. Haliët** (steenzout). Afm. 17 x 17 mm. Kristalgrot Wieliczka. Midden, rechts.
- C-13. Barnstenen kettingen** uit Polen. De honingkleurige barnsteen is het meest algemeen, de kersenkleurige (donkere) is zeldzaam. Het ruwe brok in het midden werd drijvend in de Oostzee aangetroffen. Dit stuk meet 55 x 37 mm. Collectie M. Zakrzewski. Onder, links.
- C-14. Zwavel met celestien** (PbSO_4). Afm. 47 x 42 mm. Machów, omgeving Tarnobrzeg. Onder, rechts.

De afgebeelde mineralen zijn uit de collectie van M.A. Zakrzewski. Kleurenfoto's: P. Stemvers.

De ader is 900 m lang, 2-3 m dik en gaat tot 350 m diep. De helling is 60 tot 90°. Bariet van de hoofdader is massief en lichtroze gekleurd. De bariet is vaak vergroeid met fluoriet (dit is nadelig voor de exploitatie). In het bovenste deel van de mijn zijn mangaanmineralen aanwezig. In holle ruimtes konden barietkristallen zich onbepaald vormen. Mineralogisch de mooiste stukken zijn glasheldere barietkristallen, vergroeid met zwarte mangaanoxiden. (Kleurenfoto A-7).

Bariet

Bariet (BaSO_4) is orthorhombisch; H 3-3,5; sm 4,48 g/cm³; wit of gekleurd, meestal groenig, gelig, rood, blauwig, bruin; glasglans, op sommige vlakken parelglans.

Bariet was al bekend bij de vroegste mijnwerkers, omdat het veel voorkomt in allerlei ertsaders. Lange tijd werd het als een waardeloos ganggesteente beschouwd. Men noemde het bariet, van het Griekse barys (= zwaar), omdat het opvallend zwaar is. Ook de Duitse benaming *Schwerspat* wijst hierop. Bariet heeft een dichtheid, die in de buurt komt van een aantal ijzerertsen zoals magnetiet en hematiet. Bariet komt vooral veel voor in sulfidische lood-zinkertsen. Vaak vormt het afzonderlijke aders, gewoonlijk met fluoriet erbij. Ook sedimentaire afzettingen van bariet zijn bekend. Bariet slaat ook uit sommige warmwaterbronnen neer.

Behalve door zijn hoge gewicht wordt bariet door zijn vaak volmaakte kristallen gekenmerkt. Gewoonlijk hebben ze de vorm van dikke, orthorhombische platen en zuilen en vaak zijn ze heel groot. Zuivere bariet is kleurloos tot wit, maar vaak wordt het mineraal getint door diverse bijmengsels. De hedendaagse chemische industrie maakt volop gebruik van bariet, vooral voor de productie van verf. Barium wordt deels als bariet, deels als bariumsulfide aan verf toegevoegd. De witte verf die op deze manier wordt gemaakt is niet giftig en is bestand tegen inwerking van chemicaliën. Gemalen bariet wordt gebruikt als vulling voor papier en andere stoffen, om ze gewicht te geven. Grote hoeveelheden worden gebruikt voor het verzwaren van boorvloeistof: het zorgt voor tegendruk van aardgas en olie bij dieptebooringen. In de keramische industrie maakt men van bariet glazuur en email. Tot slot wordt bariet in de glasindustrie gebruikt en voor de productie van barietcement en zwaar beton ter bescherming tegen radioactieve straling. Bariet is de grondstof voor bariumverbindingen, die onontbeerlijk zijn voor de geneeskunde (zoals de bariumpap die patiënten voor een röntgenonderzoek krijgen). In vuurwerk geven bariumzouten een intensieve groene kleur.

Toegang en vondstmogelijkheden

Het is bijzonder moeilijk om toestemming te verkrijgen voor een bezoek aan een mijn die een bijna verticale ader exploiteert. Het lopen op smalle ladders die tot honderden meters diep gaan is vermoeiend. Elke bezoeker remt de productie af. Tijdens ons bezoek in 1988 kon maar een deel van onze groep ondergronds. Het was interessant om een volledige doorsnee van het erts ter plekke waar te nemen. Maar de mooie mineralen, die heb ik van mijnwerkers.

Het verzamelen van mineralen in Stanislawów is echter ook zonder een ondergronds bezoek mogelijk. Er ligt namelijk een berg bariet buiten de poorten van de mijn, aan de openbare weg. Bij mijn laatste bezoek in 1997 konden wij er zoeken. Een kleine attentie voor de portier wil ook wel helpen. Om de fluoriet te kunnen onderscheiden van de bariet moet men het erts bevochtigen: fluoriet wordt dan glasachtig.

Afb. 2. Jaskinia Oblazkowa: een ijsgrot in de Tatra. Foto: Pools Informatiebureau voor het Toerisme.

Op een afstand van 2 km van de mijningang ligt in het dal een oude storthoop van de ijzermijn "Wilcza", waar een adervormige ertsafzetting geëxploiteerd werd. Naast hematiet is ook sideriet, bariet en fluoriet aanwezig. Op deze storthoop heb ik in 1988 mooie niervormige hematiet gevonden.

Museum in Wroclaw (mineralogie)

Voor de Tweede Wereldoorlog was Wroclaw (toen Breslau) een belangrijk centrum voor mineralogie. Mineralogen van de Universiteit hebben een enorme collectie mineralen bijeen gebracht, niet alleen van hun werkgebied de Sudeten maar van de gehele wereld. In de laatste dagen van de oorlog was men in staat een koffertje met de beroemde edelstenencollectie uit de Festung Breslau te krijgen. Andere stukken, die goed ingepakt in de kelders van de Universiteit, zijn pas in de jaren 1970 weer tentoongesteld. In hetzelfde pand is ook een kleine winkel met mineralen aanwezig.

B. Kraków en Boven-Silezië

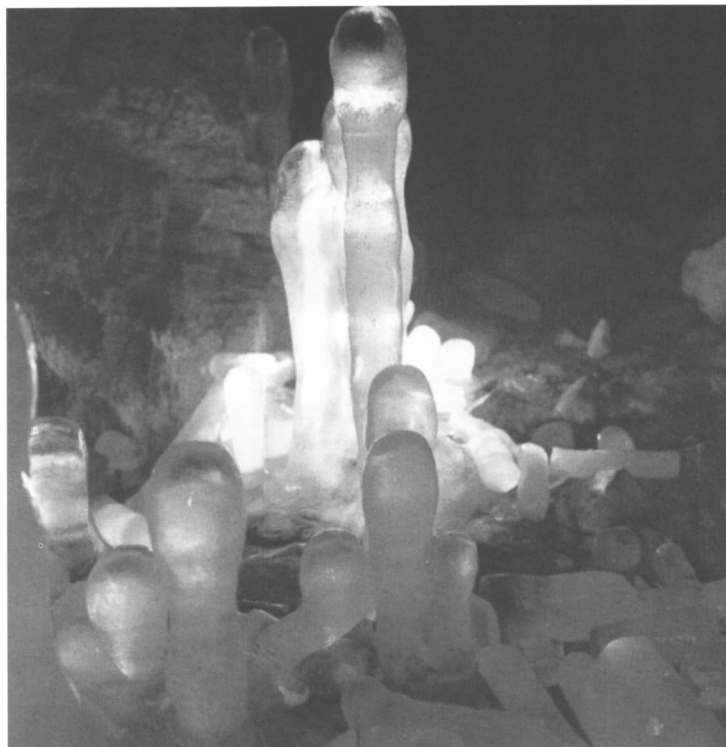
Museum te Kraków:

Akademia Górniczo Hutnicza

(geologie en minerale grondstoffen van Polen)

De Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH) is een technische universiteit die gespecialiseerd is in mijnbouw en metallurgie. In het hoofgebouw aan de Mickiewicza 30 is de afdeling Geologie gevestigd. In de hal is een permanente tentoonstelling over de geologie van Polen en over minerale grondstoffen ondergebracht. Men kan naar binnen zonder problemen maar ook zonder begeleiding. De teksten bij de afbeeldingen en beschrijvingen zijn in het Pools. Bij de ingang rechts is ook een goed bevoorradde mineralenwinkel.

Ook de faculteit Geologie van de oudste Poolse Universiteit (Uniwersytet Jagielloński) heeft een museum. Dit is een didactische collectie die naast een aantal bijzondere stukken een systematische collectie herbergt van mineralen, erts en gesteenten van karakteristieke vindplaatsen in Polen en van elders. Tijdens een bezoek in 1988 vielen mij op: zeer grote halietkristallen uit de



Kristalgrot van de Wieliczka zoutmijn, opaal uit Hongarije en zwa-
velkristallen uit Sicilië. Het museum is te bezichtigen na aanmel-
ding. Het ligt aan de ul. Golebia 24 op loopafstand van de AGH.

De Tatra

De Tatra is het noordelijkste kristallijne massief en het hoogste
deel van het Karpaten-gebergte. Afb. 2. De hoogste berg van de
Tatra is de Gerlach in Slowakije, in Polen is de Rysy met 2500 m
het hoogst. Geologisch kan men onderscheiden: een Paleozo-
ïsche kern met granieten en metamorfe gesteenten, de Mesozo-
ïsche bedekking, de Tertiaire flysch en de Kwartaire glaciale en
alluviale sedimenten. De gesteenten en de bouw van de Tatra lij-
ken veel op die van de Oost- Alpen. De sedimenten zijn gevormd
in aparte bekkens en later tektonisch overschoven. Ten noorden
van de kern liggen kalksteenlagen, die door karst zijn verweerd.
In het karststelsel stromen vaak ondergrondse rivieren, die
enorme hoeveelheden water vervoeren. Karstvorming vond
plaats in het Neogeen (Laat-Tertiair) en het Pleistoceen.
Er zijn meer dan 400 grotten bekend, een aantal daarvan is
open voor het publiek. Wysoka, in Wawóz Kraków, is met 10 km
lengte de grootste in Polen. Verder noemen we Mroźna,
Mietusia en Śnieżna. Oudere grotten zijn ontwikkeld in horizon-
tale systemen tot 5 km, terwijl de jongere verticaal ontwikkeld
zijn, met hoogteverschillen tot 700 m.

Een voor toeristen toegankelijke grot is Jaskinia Mroźna
(Bevroren Grot), die met ijs bedekte wanden heeft. Deze grot ligt
in de Koscieliska-vallei, een van de mooiste wandelroutes in de
Tatra. Behalve de grot zijn er hier sporen van mijnbouwactivitei-
ten en ook interessante paleontologische vindplaatsen (bijvoor-
beeld de Nummulites-rots). Afb. 2.

Voor geologen die wat langer in de Tatra willen verblijven is de
"Geologische gids voor toeristen" (in het Pools maar met kaar-
ten en tekeningen) aan te raden. Een bezoek aan het regionale
museum in Zakopane is eveneens de moeite waard. Het muse-
um bevindt zich aan de Krupówki-sstraat. Er is een goede uitleg
over de geologie en mijnbouw van de Tatra.

Perfecte ontsluitingen in het berglandschap hebben ook in de
Tatra gezorgd voor vondsten van vele minerale grondstoffen en
winning van de meeste ervan. De mineralisaties zijn gebonden
aan de Variscische graniet en aan de sedimentaire bedekking. In
de graniet komen ertsaders in de randzone van het massief
voor: Ornak, Koscieliska-vallei, Jaworzynka. De aders hebben
een dikte van 10 - 30 cm en kunnen over 10 m vervolgd wor-
den. Het zijn kwarts-barietaders met sideriet en sulfiden: chalcop-
pyriet, pyriet en tetrahydrodriet met 1% zilver. Bariet heeft in de
nabijheid van sulfiden een verhoogd strontium-gehalte: tot 7%
SrO, in tegenstelling tot 2% SrO buiten de sulfidezone.

In de kalkseries van het Trias zijn onregelmatige hematietaders
gevonden, die op een aantal plaatsen ontgonnen werden. Het
erts werd in Kuznice gesmolten (*kuznice* betekent "smidse").
Door vermenging van de erts met mangaan was het ijzer zeer
geschikt voor messen, sikkels en zeisen. De mijnbouw had tot
gevolg dat de oorspronkelijke beukenbossen zijn gekapt. Pas
later werden dennen aangeplant. In 1880 stopte men met de
mijnbouw in de Tatra.

De sulfidische mineralisatie is niet economisch; meer belangstel-
ling wekt de graniet zelf, maar deze ligt (gelukkig) in een
Nationaal Park en is dus beschermd. Het nemen van monsters
en het gebruik van hamers is in het Nationaal Park verboden.

Szaflary: geothermale energie

Op de weg van Kraków naar Zakopane ziet men in Szaflary, ca
5 km voorbij Nowy Targ, een boortoren. Men wint hier via een
2000 m diepe boring water van 90 °C. Het aquafer wordt in de
Tatra gevoed, het staat onder artesische druk: zonder afsluiters
op de boring zou het water hier 50 m omhoog spuiten. Het hete
water wordt gebruikt voor het verwarmen van huizen in de omge-
ving; in de toekomst zal ook Zakopane op deze manier worden
verwarmd. Een oplossing voor de CO₂-problematiek! Het water is
drinkbaar en wordt, iets verder afgekoeld, ook benut in kassen,
bij het drogen van hout en in vis- en garnalenkwekerijen. De



Afb. 3. Pieniny klippengordel, een bijzondere structuur van 600
km lang en 2 - 3 km breed. Foto: M.A. Zakrzewski.

Poolse Akademie van Wetenschappen heeft naast de boring een
onderzoekscentrum voor geothermale energiewinning ingericht.

Pieniny: geologie en goudmineralisatie in andesiet

De andesieten van Pieniny (afb. 3) komen in een 3 km brede en
18 km lange gordel voor. Dit zijn Tertiaire intrusies (dykes en
sills) van amfibool- of pyroxeen/amfibool- of magnetiet/amfi-
bool-andesieten. Karakteristiek is de porfiritische textuur met
porfiroblasten van plagioklaas, zwarte glanzende kristalletjes van
hoornblende en doffe kristallen van augiet. De plagioklaas is een
labradoriet met een albiet-rijkere buitenzone.

De sulfidische mineralisatie van andesieten is gebonden aan een
propylitisatie-proces, dat gekenmerkt wordt door omzetting van
plagioklaas in albiet en de vorming van epidoot (soms een roze
piemontiet). Donkere mineralen zijn vervangen door chloriet,
sericietmineralen van de serpentijn- groep, kwarts, calciëet en,
zeer karakteristiek, pyriet. In de pyrietrijke zones van de
gebleekte andesiet kunnen gedegen goud, goud-telluriden en
andere ertsmineralen voorkomen. Dit type vererfing komt voor
in Zevenbergen (Roemenië, ook Karpaten), in Indonesië (hier
soms met seleniden), in Cripple Creek, USA (ca 600 ton Au).
Karakteristiek is het voorkomen in kwartsaders. In verband met
de relatief jonge afkomst van de intrusies (Tertiair-Krijt) worden
deze aders soms jonge goudaders genoemd.

De mineralisatie in Pieniny heeft alle kenmerken van deze klas-
se, maar gezien de geringe dikte van de aders (tussen 6 en 50
cm) is deze niet van economische waarde. Chemische analy-
ses hebben tot 4 ppm Au en tot 575 ppm Ag aangetoond.
Mineralogisch interessant is het voorkomen van bismut-telluri-
den en gedegen goud. Goud-telluriden zijn niet gevonden.

Wieliczka: zoutmijn en ondergronds museum

Wieliczka ligt ca 15 km ten oosten van Kraków. Hier bevinden
zich de wereldberoemde zoutmijnen, die vanaf de 11^e eeuw
continu in gebruik zijn en die voor een belangrijk deel van de
inkomsten van de koningen zorgden. De mijn is nu in de diepere
delen van de zoutafzetting actief.

Op de bovenste niveaus bevindt zich het toeristisch gedeelte
met de spectaculaire ruimtes die ontstonden na het winnen van
het zout. Een deel van deze ruimtes is gedecoreerd met uit zout
gemaakte voorwerpen. Het mooiste is de kapel van de zalige
Kinga. De kapel werd in de 13^e eeuw uitgehouwen op een diep-
te van 100 m. De 50 m lange en 10 m hoge ruimte is gedeco-

reerd met altaren, beelden, kroonluchters: allemaal van zout, zelfs de vloer waarop je loopt. Afb. 4.

Een van de zalen is ingericht als sportzaal. Er is ook een ondergronds museum, dat zeer de moeite waard is. Het toont de geologie van de zoutafzettingen en ook de geschiedenis van de mijn en van de zouthandel.

De extreem droge lucht in de zoutmijn is de reden voor de vestiging van een permanent ondergronds ziekenhuis, gespecialiseerd in aandoeningen van de luchtwegen.

Mineralen mag men niet verzamelen. Er is een levendige handel in souvenirs, gemaakt van zout of uit recent gevormde zoutkristallen. De in 1860 ontdekte kristalgrot is niet voor het publiek opgesteld. Pronkstukken van zoutkristallen tot 40 cm groot, die in vele mineralogische collecties te bewonderen zijn (onder andere in het museum van de Jagiellonijsche Universiteit) komen uit deze kristalgrot. Een andere mineralogische bijzonderheid is een vezelige vorm van haliet: "Kinga's haar". Kleurenfoto B-12.

Haliet

Haliet is kubisch; H 2; sm 3,1-3,2 g/cm³; kleurloos, grijs, soms roodachtig of blauw; met glasachtige tot dof glans. Gewoon steenzout, of keukenzout, was in de Oudheid een belangrijk handelsartikel: vanuit gebieden aan zee werd het naar het binnenland gebracht. Het was ongetwijfeld het belangrijkste mineraal voor de mens en ook nu nog is de vraag ernaar zeer groot. Bij Hallstatt zijn restanten van oude mijnen gevonden, niet alleen gangen en schachten, maar ook spaden, ladders en ander gereedschap, allemaal goed bewaard gebleven in het zout en daterend uit de IJzertijd. De voornaamste afzettingen van natriumchloride bevinden zich in zeewater. Alle oceanen en zeeën van de wereld samen moeten ongeveer 20 miljoen km³ zout bevatten, want zeewater bestaat voor 3,7 procent uit natriumchloride en andere zouten. Daarom is langs de zee-kusten sinds mensenheugenis zout gewonnen door zout water eenvoudigweg te laten verdampen in ondiepe reservoirs ('zoutpannen'). Deze methode van zoutwinning is nog heel algemeen in de landen rond de Middellandse en Zwarte Zee.

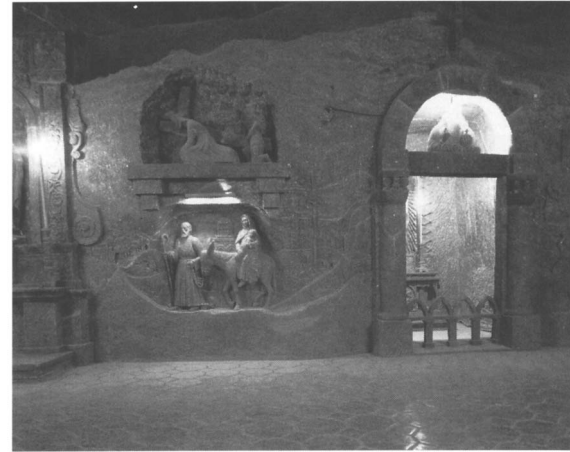
In het binnenland komen ook afzettingen van natriumchloride in vaste vorm voor. De belangrijkste formaties zijn van die van het Zechstein (Perm), zoals in Nederland en in Noord-Polen, en van het Mioceen (Tertiair). Deze ontstonden door de verdamping van zeewater in zeebekkens, die opdroogden onder hete en droge klimatologische omstandigheden. Uit het water kristalliseerden zouten in (omgekeerde) volgorde van hun oplosbaarheid. Eerst de moeilijk oplosbare kalk, dan gips en anhydriet, vervolgens haliet en als laatste de meest oplosbare K-Mg-zouten. De oorspronkelijk horizontale zoutafzettingen worden bij tektonische bewegingen tot zoutkoepels (*diapiren*) omgevormd.

Gewoon steenzout vormt korrelige tot compacte massa's, maar in holtes en spleten komt het vaak als kubische kristallen voor. Deze zijn goed splijtbaar. Wanneer zout chemisch zuiver is, is het doorzichtig; als het grijs is, komt dat door klei; hematiet geeft een rode kleur, bitumineuze stoffen maken het zout bruin en een blauwe tint wijst op beschadigingen van het kristalrooster veroorzaakt door straling van radioactieve kaliumisotopen.

Zout is heel belangrijk voor de mens. Ieder van ons verbruikt jaarlijks gemiddeld 7,6 kg zout. Tegenwoordig wordt een zeer grote hoeveelheid zout verwerkt in de chemische industrie, waarvoor zout een onontbeerlijke grondstof is, in het bijzonder voor de productie van natriumverbindingen, chloor en chloorverbindingen. Er zijn in totaal wel 18.000 toepassingen van haliet (en producten) bekend. Grote, heldere zoutkristallen gebruikt men in de optica. Het meeste zout wordt uit afzettingen van steenzout gehaald door het ondergronds op te lossen in water en dan de zo verkregen pekkel te laten verdampen.

Afb. 4. De ondergrondse kapel van de zalige Kinga in de zoutmijn van Wieliczka. Alles is hier van zout, ook de vloer.

Foto: Pools Informatiebureau voor Toerisme.



De zoutafzetting van Wieliczka is een onderdeel van de Mioceen zoutformatie die zich bevindt tussen Kraków en Tarnów (60 km) aan de rand van de Karpaten. De dikte van de zoutserie neemt toe naar het oosten: in Kraków 100 m, Wieliczka 250-400 m, Bochnia 600 m en nog verder tot 1500 m dik. De zoutserie is opgebouwd uit haliet, anhydriet of gips, afgewisseld met mergel en klei.

Onder invloed van de Karpaten is een deel van de autochtone zoutformatie verplaatst naar het noorden. Bij deze verplaatsing werden de laagpakketten opeen gestapeld, en daardoor aangrijkt. Dit deel van de afzetting geeft de beste kwaliteit grondstof. De allochtone serie is opgebouwd uit dezelfde zouten als de autochtone. In de onderste delen is groene haliet vergroeid met blauwe anhydriet, deze wordt niet ontgonnen. Hoger zit er grijze haliet (*spizowa*), gekleurd met klei, en bovenin bruinrijze haliet (gekleurd door bitumen): dit is zuiverste kwaliteit.

In de overschuiving zitten ook allerlei soorten zoutbreccia, ten dele tektonisch maar ook wel infraformationeel. Plaatselijk komen ook secundaire zoutformaties voor, bijvoorbeeld grote zoutkristallen en vezelige afzettingen.

Zink/lood-afzettingen van Boven-Silezië

De afzettingen van Boven-Silezië vormen de belangrijkste lood- en zink-concentraties in Europa. Ze vertegenwoordigen ertsformaties die genetisch omstreden zijn, in het vakbargoens worden ze als MVT aangeduid. MVT staat voor "Mississippi Valley Type" omdat de grootste afzettingen zich daar bevinden. In MVT-formaties is het nevengeesteente kalksteen en dolomiet, in de USA en Ierland Paleozoïsch, in Polen Trias (Germaans type) en in de Alpen ook Trias maar dan van het Alpen type. De lage temperatuur bij het afzetten van de ertsmineralen maakt vele speculaties over herkomst, transport en vorming van de mineralen mogelijk.

De Poolse ertsafzettingen zijn aan carbonaatgesteenten van de Muschelkalk (Trias) gebonden. Er zijn nog twee mijnen in productie: Trzebieńka en Olkusz. In beide worden sulfidische ertsen gedolven. De vorm van het erts kan variëren van lagen en gelaagde nesten tot opvullingen in (karst)breccia. De mineralogie is eenvoudig: sfaleriet, galieniet, pyriet en marcasiet.

Sfaleriet kan kristallijn zijn met kristallen tot 5 mm, maar meestal is het microkristallijn, gedeeltelijk in de vorm van schalenblende. De Poolse galienietkristallen zijn tot 5 cm grote oktaeders met de hoekpunten beëindigd door kubusvlakken. Kleurenfoto B-8.

Opvallend is de gedraaide positie van de vlakjes ten opzichte van de basis van de oktaeder. Kleurenfoto B-9.

De sfalerietlaagjes van de schalenblende worden afgewisseld door lagen van galieniet en marcasiet. Kleurenfoto B-10.

De schalenblende uit Polen is vaak gebonden aan dolomiet. Bijzondere vormen van sulfiden zijn de amorfe (niet-kristallijne) mineralen: melnikoviet-pyriet (FeS₂), boleslaviet (PbS) en brunckiet (ZnS). Om deze met zekerheid te determineren is een röntgenanalyse noodzakelijk.

Sfaleriet

Sfaleriet is kubisch: H 3-4; sm 3,5-4,2 g/cm³; bruin tot zwart (marmatiet), minder vaak geel, groenig tot rood, zelden kleurloos (cleiofaan); vettige tot diamantachtige glans; de streep is geel tot bruin (die van galeniet: zwart!)

De naam van dit mineraal is afgeleid van het Griekse sphaeros ('bedrieglijk', 'onzeker'). Sfaleriet komt namelijk in verschillende kleuren voor die zo sterk uiteenlopen dat zelfs ervaren mijnwerkers het vaak niet herkennen. In de 16^e eeuw zagen ze het nog aan voor zilbererts; pas in de eerste helft van de 18^e eeuw werd ontdekt dat sfaleriet een grote hoeveelheid zink bevat. Het zou nog lang duren voordat men sfaleriet ging gebruiken: in de jaren '60 van de 19^e eeuw werd een metallurgische methode ontwikkeld om er zink aan te onttrekken. Tot dan toe had men het weggegooid als waardeloos ganggesteente, vooral omdat het als een verontreiniging van loodertsen werd beschouwd, die het winnen van lood uit het erts bemoeilijkt.

Sfaleriet is meestal korrelig; maar in holtes vormt het volmaakt spijltbare kristallen met een sterke diamantglans. Het is een van de algemeenste sulfiden en komt voor in ertsaders, vaak samen met galeniet en pyriet, en soms ook met chalcopyriet (polymetallische ertsen). In de Picos de Europa in het noordwesten van Spanje zijn schitterende exemplaren van gele kristallen gevonden. Sfaleriet in die bijzondere vorm wordt geslepen als edelsteen. Een andere bijzondere vorm van sfaleriet is de al genoemde schalenblende, aan velen al bekend uit de omgeving van Aken. Deze bestaat uit dunne, 1-3 mm brede bandjes van verschillend gekleurde sfaleriet. De kleurverschillen worden meestal veroorzaakt door afwisselend Fe-gehalte, maar kunnen ook een effect zijn van de korrelgrootte: fijnkorrelige bandjes zijn donker. Ook komen bandjes van wurtziet (hexagonaal ZnS), galeniet en marcasiet voor. Bij lage-temperatuurafzettingen komt soms ook amorf zinksulfide (brunckiet) voor.

Sfaleriet is het belangrijkste zinkerts, dat voornamelijk wordt gebruikt als bron van zink voor dunne platen en vellen, en voor roestvrije coatings. Gallium, indium en germanium, die als halfgeleiders kunnen dienen, komen als "verontreinigingen" in sfaleriet voor en worden eruit gewonnen.

Galeniet

Galeniet is kubisch: H 2.5-3; sm 7,2-7,6 g/cm³; grijszwart tot loodgrijs; zeer sterke metaalglans; streep metallisch-grijs. Het heeft een volmaakte spijting en verbreekt vaak meteen als men erop slaat. Van veel plaatsen zijn mooie kristallen bekend: bijna perfecte kubussen, oktaeders, rhombendodekaeders en combinaties van deze vormen.

De grootste galenietkristallen, van soms wel 25 cm, zijn op het Isle of Man (Groot-Brittannië) gevonden.

Galeniet werd al in de Oudheid gedolven als bron van zilver. Hoewel het niet meer dan een half procent zilver bevatte gebruikte men galeniet toch als zilbererts. Men produceerde ook lood uit galeniet en al snel werden toepassingen gevonden. De Babyloniërs maakten loden vazen en de Romeinen gebruikten lood voor de vervaardiging van waterleidingbuizen. Nadat de boekdrukkunst was uitgevonden, werd lood op steeds grotere schaal gebruikt als lettermetaal. Tegenwoordig wordt lood vooral gebruikt voor de bekleding van kabels, voor accuplatten en als afscherming van radioactieve stoffen. Van loodverbindingen worden verf, met name witte en rode, loodglas en email gemaakt. De toepassing van lood als antiklop-middel in benzine neemt af.

erts als resultaat van het verwerken van sfaleriet bestaat uit: smithsoniet (ZnCO₃), hydrozinkiet (Zn₅(CO₃)₂(OH)₆) en hemimorfiet (zink-silicaat). Galeniet verweert tot cerussiet (PbCO₃) (zie kleurenfoto B-12) of zelden tot anglesiet (PbSO₄). Beide mineralen vormen een beschermend laagje op galeniet met als gevolg, dat men in de oxidatiezone nog galeniet aantreft. Deze oxidische lood- en zinkmineralen zijn wit, maar de overwegende kleur van *galmei* is bruin. Dat komt door de aanwezigheid van goethiet, een verweringsproduct van de ijzersulfiden pyriet en marcasiet.

Toegang en vondstmogelijkheden

Bezoek aan een van de werkende mijnen is moeilijk te regelen. Via de WRO-MIN excursie (zie onder "Wetenswaardigheden" achteraan dit artikel) is het mogelijk om de Trzebieńka-mijn te bezoeken. Dit was een echte uitdaging omdat men over een incline – een schuine schacht – naar 200 m diep onder de grond moest lopen, een aantal kilometers ver, om de ontginning te zien en weer terug omhoog. Vooral terug was het letterlijk zwaar, met een tas vol prachtige galenietkristallen en blokken schalenblende. (Kleurenfoto B-11!).

Ben je als niet-georganiseerde bezoeker, dan is het mogelijk mineralen te zoeken op storthopen van verlaten mijnen. Echt mooie stukken vind je niet, maar wel representatief voor de MVT. De karakteristieke sfeer van een ondergrondse mijn kun je wel proeven in Tarnowskie Góry.

Op mineraalbeurzen in Polen en in het buitenland worden vaak gepolijste monsters aangeboden.

Lood-zink-afzettingen en ijzerertsen: Tarnowskie Góry – czarnego pstragastollen

Al in de 13^e eeuw werden bij Tarnowskie Góry zilverhoudend lood en ijzerertsen gewonnen. Het zijn ertsen die ontstonden door verwerking van ijzersulfiden (pyriet en marcasiet), die hier aan de rand van het lood-zink-district van Boven-Silezië aanwezig zijn. Het gehalte van galeniet ten opzichte van sfaleriet is hier hoger dan in de centrale zones van Bytom of Olkusz. De verwerking van ijzersulfiden vormt een karakteristiek residu van goethiet dat "ijzeren hoed" genoemd wordt. Goethietertsen zijn gemakkelijk smeltbaar bij relatief lage temperatuur en gedurende lange tijd waren het de grondstoffen voor de lokale ovens. Het probleem begon toen met toenemende productie de primaire, sulfidische ertsen bereikt werden. Zwavel is een vijand van de ijzerproductie, want er mag maar een tiende procent van aanwezig zijn omdat anders het ijzer bros wordt. In de 18^e eeuw heeft men voor de ontwatering van de ertsafzettingen een gang van enkele kilometers lang gemaakt. Deze is opengesteld voor het publiek. Het hoogtepunt van het bezoek is een tocht over de ondergrondse rivier, de "galerij van de zwarte forel". Het mijnbouwmuseum bevindt zich op de markt van Tarnowskie Góry.

Czestochowa: ijzerertsafzettingen

In omgeving van Czestochowa (de belangrijkste bedevaartsplaats van Polen), aan de westkant van het Jura-gebergte, kan men in een gordel van 100 km af en toe conische storthopen zien. Dit zijn overblijfsels van de ooit bloeiende ontginning van sedimentaire ijzerertsen. Het waren siderietertsen (Dogger, Jura) van het type dat ook in Noord-Frankrijk, België en Luxemburg bekend was. In de begintijd van de industrialisatie hebben deze ertsen veel betekenis gehad, maar met de groeiende mechanisatie van de mijnen werd het onmogelijk deze ertsafzettingen economisch te ontginnen. In Polen is de laatste ijzermijn in 1980 gesloten. De dikte van het erts was 30 - 40 cm, terwijl men minimaal een gang van 80 - 100 cm moest hebben. Het erts bevatte maar 30 % Fe, maar was gemakkelijk smeltbaar door de hoge CaO- en MgO-gehalten. Op de storthopen kan men fossielen vinden. De ertsen zijn zeer fijnkorrelig, voor de mineraalverzamelaar niet mooi.

In Bytom en in Tarnowskie Góry zijn ook voorkomens van **oxidische** ertsen (*galmei*). Vroeger gebruikte men uitsluitend dit type zinkerts, tegenwoordig is dat niet economisch. Oxidisch

Steenkool

Steenkool is nog steeds de basis van de energievoorziening in Polen. Niet alleen voor de productie van elektriciteit, maar ook voor het koken en het verwarmen van de huizen. Er zijn geen toeristische steenkoolmijnen. Mineralogisch interessant zijn de sideriet-concreties met uitdrogings-scheuren die bedekt zijn met gekristalliseerde mineralen. Je kunt calciet, kwarts, sfaleriet, pyriet, chalcopyriet en (zelden) milleriet (NiS) vinden. Plaatselijk komt een massieve steenkool voor, die door mijnwerkers met een artistieke aanleg wordt gebruikt voor het vervaardigen van sculpturen. Op mineraalbeurzen kun je deze steenkoolbeelden tegenkomen.

C. Centraal- en Noord-Polen

Barnsteen-afzettingen aan de Poolse Oostzeekust

Barnsteen is de "No 1" van de Poolse edelstenen. De eerste schriftelijke relaties over Polen hebben verband met het voorkomen van *elektron* (Grieks voor barnsteen) aan de kust van de Oostzee, en de "barnsteenroute", die van de Oostzee dwars door Europa voerde. (Afb. 5). Barnsteen is fossiele hars van naaldbomen (*Pinus succinifera*) uit het Eoceen. In dat tijdperk groeiden dichte wouden rond de Oostzee en uit beschadigde bomen 'bloedde' hars, zoals ook nu nog in onze bossen gebeurt, maar in het Tertiair zat er meer hars in de bomen. De hars vloeide uit de wonden en scheuren en vormde kleine druppels of grotere klompen. Deze lieten los van de boom en vielen op de grond, waar ze in de loop van de tijd bedekt raakten met sedimenten. Miljoenen jaren verstreken, tot ze door erosie door water weer bloot kwamen te liggen.

Barnsteen heeft de vorm van vormeloze druppels, grillig gevormde brokstukken, korrels, stalagmieten en min of meer ronde stenen. Gewoonlijk hebben de stukjes die gevonden worden in sediment een troebele witte korst; stukken uitgespoeld door zeewater hebben een glanzend oppervlak. De "blauwe aarde" van het Tertiair is in dit gebied het moedergesteente.

In sommige klompjes zijn resten van planten en insecten bewaard gebleven. De organismen bleven plakken aan de stromende hars en werden erdoor omsloten. Dergelijke vondsten uit het Tertiair zijn uiteraard van heel groot belang voor de wetenschap, want soms zijn de organismen tot in het kleinste detail bewaard gebleven. Ze moeten in de barnsteen bestudeerd worden, want het is onmogelijk ze eruit te halen.

Vondstmogelijkheden

Het is een uitdaging en attractie van het verblijf aan de Poolse Oostzeekust om te zoeken naar barnsteen. Het is niet moeilijk om stukjes tot 1 cm te vinden. Grotere worden alleen gevonden na een flinke storm. De grootste, uiterst zeldzame brokken barnsteen hebben een gewicht tot 10 kg. Elk jaar worden wel stukken van rond 1 kg gevonden. Tijdens stormen worden stukjes uit het zachte sediment, de "blauwe aarde", los geslagen en door de woeste golven op het strand geworpen. Soms worden stukjes barnsteen in visnetten gevangen. Een natuurlijk soort net vormen wieren en een concentratie van wier in water of aan het strand is de beste vindplaats van barnsteen. In de IJstijd zijn stukjes barnsteen van de Oostzee zuidelijk getransporteerd. Deze zijn op veel plaatsen in Polen en in de Oekraïne gevonden.

Industrieel wordt barnsteen gewonnen uit het moedergesteente, de blauwe klei. Bijzonder rijke velden zijn ontdekt tijdens de aanleg van de Noordhaven van Gdansk. Hier bevindt zich een concentratie van barnsteen, losgeslagen uit de primaire blauwe aarde en vervolgens geconcentreerd als een secundaire afzetting in zand. Men gebruikt waterkanonnen om de barnsteen uit



Afb. 5. De barnsteenroute op een Poolse postzegel uit 1993.

het zand vrij te wassen. Officieel wordt er 40 ton barnsteen in Polen gewonnen, maar er zijn ook tientallen barnsteen"jutters", die zonder vergunning werken. Oudere wingebieden zijn er bij Braniewo (aan de Pools-Russische grens), Chlapowo, Jastrzebia Góra, Swibno en bij Slupsk.

De mooiste bewerkte stenen, vaak gezet in zilver, vindt men in de winkels in Gdansk, maar overal in de Poolse juwelierszaken is barnsteen te koop. Kleurenfoto C-13.

Op mineraalbeurzen worden vaak stukjes aangeboden met ingesloten insecten. Soms zijn dat niet Tertiaire maar recente insecten in recent hars (*copal*).

Ook in de Tertiaire bruinkool wordt, naast stukjes xyliet (hout), barnsteen gevonden. Vaak zit deze vol barsten en is dus minder geschikt voor bewerking.

Een barnsteen-excursie, georganiseerd door de Universiteit van Wroclaw, heeft in het programma een bezoek aan de ontginning met hydraulische methoden in de omgeving van Gdansk, bezoek aan het barnsteenmuseum in Malbork, barnsteen zoeken aan het strand, en een bezoek aan het Russische deel van Oost-Pruisen: Königsberg (Kaliningrad) met het barnsteenmuseum.

Warszawa: Geologisch Instituut en Muzeum Ziemi

Het Institut Geologiczny (= Geologisch Instituut) is de wetenschappelijke afdeling van de Poolse Geologische Dienst. In de loop der jaren is een enorme collectie opgebouwd die goed en overzichtelijk tentoongesteld is. Er zijn afdelingen voor mineralogie, paleontologie, regionale geologie, petrologie en minerale grondstoffen. In de grote zaal staan o.a. grote zoogdieren uit de IJstijd opgesteld, in de galerijen zijn de regionale en systematische collecties ondergebracht. Zie afb. 11 op pag. 87.

Het adres is: Ul. Rakowicka 4.

Barnsteen

Barnsteen, in het Engels amber genaamd, had de mineralogische naam succiniet, maar het is geen geldig mineraal. Het is in feite een amorfe fossiele hars uit het Tertiair. In het Duits heet het Bernstein, omdat het brandbaar is, en ook de Nederlandse naam is te danken aan deze eigenschap. Bij 250 - 300 °C smelt barnsteen. De hardheid is 2 - 2,5; soortelijke massa 1,0 - 1,1 g/cm³ (dus lichter dan zeewater) en de glans is vettig tot wasachtig. Barnsteen kan volledig transparant zijn, doorschijnend of ondoorzichtig. Karakteristiek is de warme honingkleur, variërend van geel tot bruin. Zeldzamer en veel duurder is rode barnsteen; veel minder gewild zijn grijze soorten met bijgemengde kleimineralen. Opvallend blauw en groen fluorescerende brokken komen van Sicilië, met name uit het slib van de rivier de Simeto bij Catania. Daarom heet deze variëteit simetiet. De belangrijkste afzettingen van barnsteen bevinden zich ten noordwesten van Kaliningrad (Konigsberg), met name in de omgeving van Jantarny (het woord jantar betekent barnsteen in het Russisch en in andere Slavische talen).

In de oertijd en in de vroege Oudheid was barnsteen een van de meest geliefde edelstenen. De prehistorische mens hield ervan omdat dit materiaal mooi gekleurd en gemakkelijk te bewerken was. Als het gepolijst wordt glanst het prachtig. Er zijn halskettingen met kralen van barnsteen gevonden die dateren van het begin van het tweede millennium voor Christus, de vroege Bronstijd. Het was een belangrijk artikel op de ruilmarkt en in opgravingen vindt men bewerkt barnsteen. Sensationeel was de ontdekking van een hanger in een Maya-graf, gemaakt uit barnsteen afkomstig van de Oostzee. Een indicatie voor Precolumbiaanse contacten tussen Europa en Amerika. Ook grotere voorwerpen werden uit barnsteen gemaakt. Het beroemdste was wel de bekleding van complete wanden en meubels van de zogenaamde "barnsteenkamer" van St.-Petersburg uit 1750. Deze is verdwenen tijdens de Tweede Wereldoorlog bij of na de ontmanteling en roof van de complete kamer door de Duitsers. Het mysterieuze lot van deze schat vormt voer voor speculaties door schatzoekers, journalisten en wetenschappers.

Barnsteen wordt naar kwaliteit ingedeeld in 200 soorten en vervolgens bewerkt met behulp van speciale draaischijven. Vaak maakt men er handelsartikelen van, zoals sigarettenspijpen en andere rookartikelen, allerlei souvenirs en siervoorwerpen. Transparante variëteiten met fraaie tinten worden vrijwel uitsluitend gebruikt voor de vervaardiging van juwelen met facetstenen, zoals halskettingen, armbanden en ringen. Kleurenfoto C-13.

Bij de bewerking probeert men de speciale kenmerken van de soort goed uit te laten komen, zoals tinten die in banden verlopen of in elkaar overvloeien, het 'wolkige' van het materiaal of de bijzondere vorm van een steen. Er wordt niets weggegooid. Overgebleven stukjes worden onder hoge druk (300 Mpa) verhit (140-250 °C), waardoor 'geperste barnsteen' (*ambroid*) ontstaat.

Barnsteen wordt door zijn uitstekende isolatie-eigenschappen toegepast in gevoelige elektrische instrumenten. In de chemie wordt barnsteen toegepast bij de productie van lakken, en verwerkt tot barnsteenolie en barnsteenzuur. Barnsteenolie wordt gebruikt in de geneeskunde. Vanouds gebruikte men barnsteen om ziektes bij mens en dier te verdrijven, soms door het verbranden van stukjes barnsteen, soms door inname van barnsteenpoeder. Het dragen van halskettingen en armbanden zou, door de elektrostatische eigenschappen, werken tegen overspanning. Voor imitaties van barnsteen worden kunstharsen, glas en copal (recent natuurlijk hars) gebruikt. Men kan een verzadigde keukenzout-oplossing gebruiken om glas en kunstharsen (zwaarder dan barnsteen!) van barnsteen te onderscheiden.

Het Muzeum Ziemi is gelegen aan Al. Na Skarpie 20/26 en gehuisvest in een mooie villa van de beroemde architect Pniewski. De afdelingen van het museum zijn: paleontologie van het Paleozoïcum, barnsteen uit de Oostzee, mineralogie en regionale geologie van Polen.

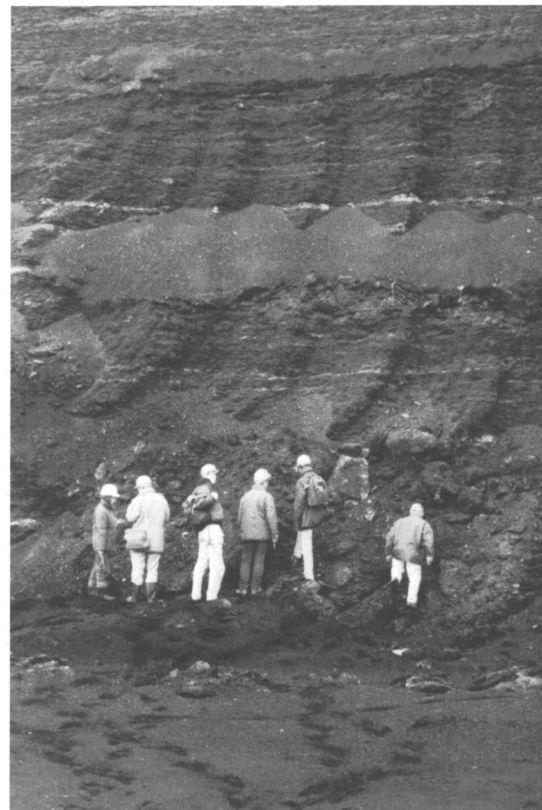
Belchatów: bruinkoolmijnbouw

Voor een aparte reis is de Belchatów-mijn de moeite niet waard, maar als je toch in de buurt bent, op de weg van Czestochowa naar Warszawa, dan is een kleine omweg wel interessant. Hier bevindt zich namelijk de grootste bruinkoolmijn van Europa. Alle bruinkool die hier wordt gewonnen gaat direct naar de grootste Poolse elektriciteitscentrale, die 20 % van de elektriciteit van Polen produceert. Er geldt hier: niet alleen veel maar ook goedkoop! Maar zoals elders, zorgt de enorme schaal van de onderneming ook voor overlast. Landbouwgrond wordt vernietigd, de grondwaterspiegel tot 200 m verlaagd en er is een kuil (depressie) van 500 km² ontstaan. Er is uitstoot van SO₂ door de aanwezigheid van ijzersulfiden in de bruinkool, emissie van CO₂ en een enorme berg afval-as.

De bruinkool dateert uit het Mioceen (Tertiair) en is afgezet in een tektonische slenk van 1.5 - 2 km breed en 40 km lang. De dikte van de bruinkool is gemiddeld 60 m, maar kan ook meer dan 100 m zijn. Het materiaal ligt onder ca 150 m sedimenten, die verwijderd moeten worden voordat men met de ontginning kan beginnen. Omdat naast de slenk de bruinkoollaag maar enkele meters dik is, is het zeer waarschijnlijk dat het zakken van de bodem van de slenk onmiddellijk gevolgd werd door de opvulling met plantenresten.

Toegang en vondstmogelijkheden

Deze zijn beperkt. Belchatow is een werkende mijn, met enorme afstanden en hoogteverschillen. Aan de rand van de groeve is een uitzichtpost vrij toegankelijk. Dunne laagjes bruinkool worden niet apart gesorteerd maar samen met de sedimenten van boven de hoofdlaag op een storthoop gedumpt. Daar kun je interessante, herkenbare stukken hout uit het Tertiair vinden. Afb. 6. In een van de wanden is Krijt ontsloten, je kunt hier een overvloed aan zeeëgels en belemnieten vinden. Zeer interessant



Afb. 6. Het zoeken naar mooie resten van bomen uit het Mioceen in de bruinkoolmijn van Belchatów. Dit is de grootste groeve van Europa. Foto: A.M. John.

is ook het voorkomen van gestreepte vuursteen. Afb. 7. Vrij zelden vindt men stukjes fossiele hars, barnsteen dus. Die is echter door zijn broosheid niet geschikt voor bewerking.

Góry Swietokrzyskie (Heilig Kruis Gebergte)

In de GS-bergen van Centraal-Polen kan men mineralogie met paleontologie combineren. GS is een relatief goed ontsloten gebied met gevarieerde lithologie, in duidelijke plooistructuren opgebouwd en door breuken doorkruist. Het is een ideale plek om integraal de diverse geologische aspecten te bestuderen. Traditioneel is dit ook het oefenterrein voor 1^e en 2^e jaars studenten van de Universiteiten in Warszawa en Kraków, die hier komen karteren. Ook de amateur-geoloog kan hier veel leren.

Er zijn twee structurele eenheden: het Paleozoïsch massief en de Mesozoïsche bedekking. Het centrale massief bestaat uit sedimentaire formaties vanaf Cambrium tot het Carboon, met zandstenen, schalies, kwartsieten en organische kalkstenen. De gesteenten zijn geplooid in lange WNW-OZO plooiën, die worden doorsneden door talrijke breuken in de lengte en in de breedte van de plooiën. Dit gebeurde grotendeels tijdens de Variscische orogenese, maar er zijn ook duidelijke sporen van veel oudere Caledonische activiteit. De kern van het gebied is bijna rondom omgeven door een sedimentaire bedekking uit Perm tot Jura, alleen vanaf het zuidoosten begrensd door Tertiaire mariene sedimenten van het Karpaten-voorland. Tijdens de Alpiene bewegingen zijn de GS omhoog gebracht en ontstonden er nieuwe breuken. In de centrale zone is de jonge bedekking weggeërodeerd.

Magmatische activiteit was hier zeer beperkt: er zijn alleen diabaas- en lamprofiergangen. Het is niet duidelijk of dat samenhangt met de polymetallische sulfide-mineralisatie in de Paleozoïsche kern. Lood, zink, koper en bariet zijn in GS gemijnd; hier staat als het ware de wieg van de Poolse mijnbouw. Ook het gebruik van sedimentaire ijzerertsen heeft in deze regio een oude traditie. Zeer belangrijk voor de Poolse economie zijn nog steeds de sedimentaire gesteenten zelf. In een aantal groeves worden grote hoeveelheden kalksteen ontgonnen, als *flux* voor hoogovens, als grondstof voor cement en voor decoratieve doeleinden. Een van de unieke voorkomens was de "Zelejowa roze steen", *Różanka*, een tot 5 m dikke calcieterader, opgebouwd door een aantal generaties calciet die verschillend gekleurd zijn, in roze-rode tinten, gebreccieerd en vervolgens opnieuw door calciet overgroeid. De mooiste voorbeelden van dit "marmor" kan men in Kraków, in de snoepwinkel op het plein bewonderen.

Een andere Poolse beroemdheid is het *Zygmuntówka*-kalksteenconglomeraat. Hieruit werd de oorspronkelijke zuil onder het beeld van koning Sigmund in Warschau gemaakt, die echter tijdens de Tweede Wereldoorlog vernietigd werd. Ook zandstenen vormen een belangrijk product. De bekendste is Szydłowice dat wordt geken-

merkt door de zachtheid in verse toestand; men kan het dan met een houtzaag bewerken! Na een tijd wordt het gesteente hard. De bovenbouw van het Paleis van Cultuur in Warszawa is van *Szydłowice* gemaakt.

Toegang en vondstmogelijkheden

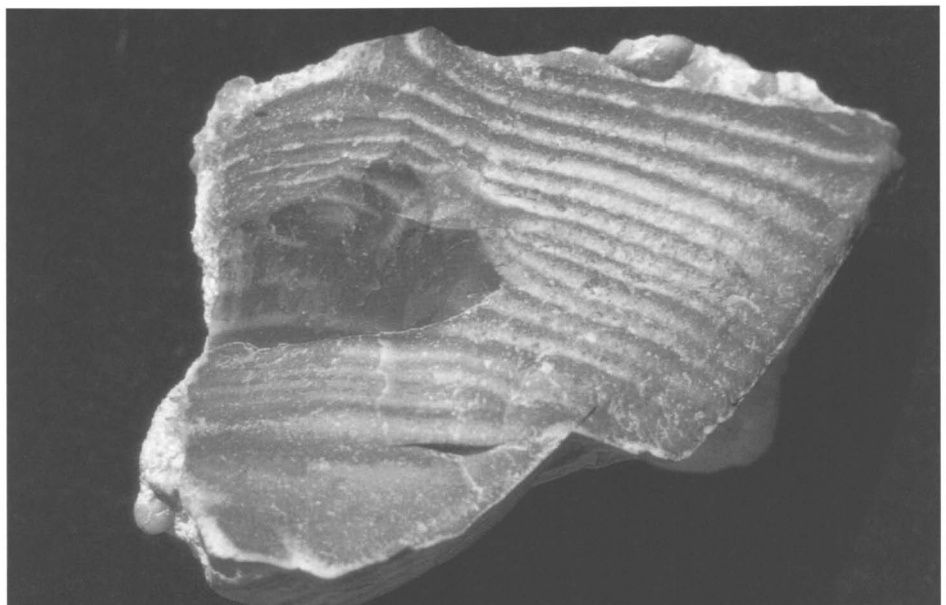
Het mooiste gedeelte van GS voor een mineraloog is de omgeving Checiny, 15 km ten zuiden van Kielce. Vanaf de weg Warszawa – Kraków (N7 = E77) kan men op een berg de ruïnes van een slot uit de 13e eeuw bewonderen. Een leuke plaats om te stoppen is aan de zuidelijke helling van de berg. Op een van de onverharde wegen kan men met de auto tot aan de voormalige groeve komen. Hier heb ik in 1997 mooie stukken van de roze calcieteraders *Różanka* gevonden. Ik heb het zelf niet geprobeerd, maar de plek lijkt mij ideaal om wild te kamperen.

Richting west liggen de volgende toppen, allemaal van kalksteen. *Miedzianka* (*miedz* = koper in het Pools) en verder *Ołowianka* (*olów* betekent lood). De namen wijzen op de ertsen die hier ontgonnen werden. Van de kopermineralen is het voorkomen van vaalerts, dat in het verleden *miedziankiet* genoemd werd, interessant. Het is in feite tennantiet ($Cu_{10}Zn_2As_4S_{13}$). Er is ook chalcopyriet en gersdorffiet ($NiAsS$) gevonden. Het zal wel lastig zijn de berg Ołowianka te vinden, want die bestaat alleen nog maar op kaarten. Een triest geval van het verdwijnen van een complete berg in de muil van de hoogovens.

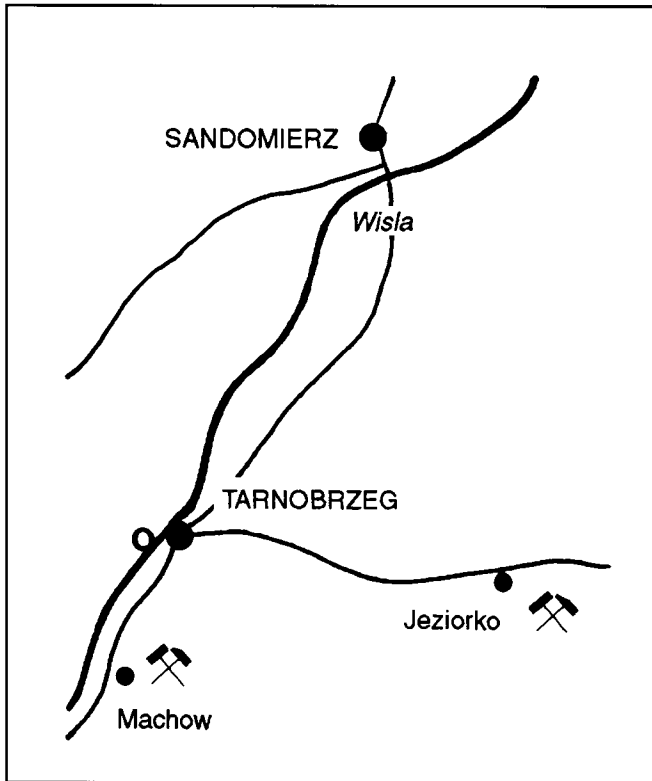
Ten noorden van de Zamkowa-bergketen ligt de Zelejowa-rug. Het is een bijzondere opgave voor jonge studenten geologie om vast te stellen dat, als gevolg van morfologische inversie, in het **dal** tussen de twee bergen de as van een **anticlinaal** ligt. Op de Zelejowa-berg kan men sporen van mijnbouwactiviteiten vinden, oude koper- en loodmijnen en "marmor"-groeves. In de bovenste groeve kan men nog goede voorbeelden zien, ook van karstvorming. Nog noordelijker ligt de berg Czerwona (rood), met de Zygmuntówka-groeve.

Een bijzonder overblijfsel van de oude (lood)mijnbouw zijn de uit blokken galeniet gemaakte figuren van de Madonna, de heilige Barbara en de heilige Antonius door de mijnwerker Hilary Mala. Deze zijn te zien in de kerk van Karczówka ten noorden van Kielce. Galeniet werd hier tot in 1916 ontgonnen via een aantal schachten.

Een voorbeeld van ijzererts dat is ontstaan door verwerking van pyriet kan men zien in Rudki bij Nowa Słupia (ten O van Kielce). Hier bevinden zich de oudste sporen van ijzersmeltevans uit de IJzertijd, te bezoeken in het metallurgisch museum.



Afb. 7. Een stukje gestreepte vuursteen, gevonden in de bruinkoolgroeve Belchatów. Afmeting 50 x 37 mm.
Foto: P. Stemvers.



Kaartje C.

Krzemionki Opatowskie – vuursteenmijn uit het Neolithicum

Op de weg van Warszawa naar Tarnobrzeg ligt de stad Opatów en in de buurt Krzemionki Opatowskie, een dorpje waar in het Neolithicum zeer grote vuursteenmijnen en verwerkingsplaatsen waren.

Vuursteen is de eerste minerale grondstof die door mensen in gebruik is genomen. In het Paleolithicum vond de oermens de nuttige knollen aan de oppervlakte en in rivierbeddingen. Met de sterk stijgende vraag is de prijs zo hoog geweest dat men tot ondergronds mijnen overging. Vuursteen is opgebouwd uit organisch silica: er zijn resten van radiolaria en sponsnaalden gevonden. Het moedergesteente is kalksteen, krijt of mergel. Vooral krijt is een relatief zacht gesteente, dat gemakkelijk met een stuk bot of een steen te bewerken was.

De typische banden in de vuursteen van Opatów zijn dermate karakteristiek, dat men in opgravingen in Witusland, Wolynia, Pruisen en Moravia de artefacten gemaakt uit deze vuursteen kon herkennen. Zie afb. 7.

Er zijn meer dan 700 schachten geweest met een doorsnede van 10-11 m en tot 11 m diep. Ondergronds zijn deze schachten verbonden door een kilometers lang net van horizontale gangen van ca 85 cm hoogte. Het materiaal werd ter plaatse verwerkt tot bijlen, pijlen en nevenproducten: splinters voor verder gebruik.

Vuursteen is gemakkelijk te polijsten, maar deze eigenschap is pas later ontdekt; eerst heeft de oermens de techniek van het scherp afsplinteren benut.

De opkomst van het brons en later ijzer hebben de ondergang van de vuursteenindustrie veroorzaakt. Het is aannemelijk dat de kennis van de vroege vuursteen-mijnbouw is overgedragen aan de ontginners van ijzerertsen uit de buurt van Nowa Slupia.

In Krzemionki Opatowskie is een archeologisch museum en men kan er een ondergrondse mijn bezoeken.

Jaskinia Raj: druipsteengrot

Jaskinia Raj, 10 km van Kielce, is in de jaren '50 door leerlingen van een middelbare geologische beroepsopleiding ontdekt. Tijdens kartering zijn een paar ondernemende jongens in een opening van enkele decimeters doorsnede gekropen. Even verder verbreedde de toegang zich en bleken ze zich in een grote grot te bevinden. Toen ze de wanden ervan met zaklantaarns verlichtten, zei een van hen: "Het paradijs!" (*Raj* is het Poolse woord voor paradijs). Na de ontdekking is toen de ingang dichtgemetseld en vervolgens geschikt gemaakt voor bezichtiging door het publiek.

Tarnobrzeg: zwavel (Machów open pit en Jezioroko)

De Tarnobrzeg-afzettingen van gedegen zwavel zijn de grootste van Europa. Kaartje C. De zwavel komt voor in lagen mergel en kalksteen van enkele meters tot 30 m dik. Ze worden afgewisseld door lagen van gips en anhydriet en door lagen kalksteen die geen zwavel bevatten. De zwavel komt soms voor met celestien (SrSO_4), (kleurenfoto C-14), **strontianiet** (SrCO_3), **bariet**, **gips**, **calciet**, **dolomiet** en **kleimineralen**. Als bijzondere zeldzaamheid zijn er tot 10 mm grote kristallen van haueriet (MnS_2) gevonden. Deze hauerietkristallen, van het pyriet-type, worden in een laagje boven de zwavelafzettingen aangetroffen.

Het zwavelgehalte loopt van enkele procenten tot bijna 100 %, gemiddeld 20-30 %. De zwavel is meestal kristallijn, soms poederachtig. Zie de voorplaat. De textuur is gelaagd, massief of metasomatisch. Dat laatste is goed waarneembaar in gips waar zwavel pseudomorfofen naar gipskristallen vormt.

Zwavel

Zwavel is orthorhombisch; H 1,5-2; sm 2,0 g/cm³; geel tot bruin; diamantachtige tot vette glans, brandbaar.

Dat zwavel een element is, werd pas ontdekt in 1809, toen de chemie zich als wetenschap begon te ontwikkelen. Aangezien zwavel van vulkanische oorsprong kan zijn en gemakkelijk kan branden, werden er bovengenaamde krachten aan toegedicht. De Romeinen kenden zwavel vooral van Sicilië, waar het nog steeds in grote hoeveelheden wordt gewonnen. Ze vonden verscheidene toepassingen voor zwavel, vooral toen ze ontdekten hoe gemakkelijk het brandt, met een felle blauwe vlam, waarbij dampen vrijkomen die op je ogen en je keel slaan.

Zwavelkristallen hebben vaak de vorm van een piramide. Soms vertonen ze twee brede, platte vlakken. Gewoonlijk zitten de kristallen in groepen in holten of spleten. Ze zijn soms wel 10 cm groot. Ze hebben een sterke diamantglans en een opvallende citroen- tot honinggele of lichtbruine kleur. Ze zijn heel licht en ook heel zacht.

Opmerkelijk is de scherpe begrenzing van de zijden van zwavelkristallen. Vaker nog komt zwavel voor in de vorm van grillige massa's of platen, korrelige of stervormige aggragaten en impregnaties. De aggragaten hebben dikwijls een niervormig oppervlakken vormen knollen of stalactieten en stalagmieten.

Zwavel wordt voornamelijk gebruikt voor de productie van zwavelzuur, dat vervolgens als grondstof dient voor de vervaardiging van fosfaatkunstmest, zwavelverbindingen, verven en medicijnen. Zwavel wordt ook gebruikt om parasitaire schimmels en insecten te verdelgen, om hout te impregneren, houten vaten te behandelen, rubber te vulkaniseren, papierpulp en allerlei andere producten te maken.

Genetisch is de Tarnobrzeg-afzetting van het zogeheten Siciliaanse type. Het is tenminste gedeeltelijk syngenetisch, ontstaan tijdens sedimentatie, maar ook tijdens de diagenese en katagenese en door laterale secretie. Concentratie van zwavel begint met de vorming van sulfaten in een marien milieu. Deze wordt gevolgd door het vrijkomen van zwavel uit de verbindingen in het mariene milieu en uit de calciumsulfaten van gips- en anhydriet-gesteenten. Volgens het sedimentair-syngenetische concept ontstaat zwavel door de reductie van sulfaten door anaerobe bacteriën. In de zuurstofvrije zone halen de bacteriën zuurstof uit sulfaten, ook uit sulfaten opgelost in zeewater. Als tussenproduct ontstaat calciumsulfide:

$\text{CaSO}_4 + 2\text{C} = \text{CaS} + 2\text{CO}_2$. Het calciumsulfide reageert verder met CO_2 en water:

$\text{CaS} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S}$, of

$\text{CaS} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{S}$.

Daarna, maar nu in zuurstofrijk milieu, ontstaat gedegen zwavel: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{S}_2$.

Zwavel slaat neer als chemisch precipitaat of colloïde, dat zich gemakkelijk kan verplaatsen en rekrystalliseren. Dankzij de oplosbaarheid van calciet, gips en zwavel treden daarnaast metasomatische processen op, zodat de uiteindelijke resultaten van al deze processen een gevarieerd beeld van de zwavelafzettingen kunnen vertonen. De meest gunstige omstandigheden voor de vorming van zwavelafzettingen heersen in lagunes met verhoogd zoutgehalte. Zwavel wordt daar net voor het gips neergeslagen, soms al tijdens de precipitatie van kalksteen.

Toegang en vondstmogelijkheden

De productie van zwavel in Polen bedroeg, alleen al met de Frash-methode, 2,5 mln ton. De Frash-methode voor de winning van zwavel maakt gebruik van het lage smeltpunt. Heet water (130 – 150 °C) of stoom wordt via de binnenpijp van de tweewandige boorpijp in de afzetting gepompt, waardoor de zwavel smelt. De gesmolten zwavel vloeit dan via de buitenmantel terug en wordt bovengronds opgevangen. Afb. 8.

Technisch gezien is de Jeziórko-mijn een prototype van mijnbouw in de toekomst: ontginning via boorpijpen. Om het exploitatie-veld te zien moet je ca 10 km van Tarnobrzeg (weg 84)

richting Stalowa Wola rijden tot je langs de weg geïsoleerde pijpleidingen ziet. Rechts, in de verte, ligt een gele berg zwavel. Vroeger was deze berg veel groter. Tegenwoordig wordt zwavel namelijk direct vanuit de gesmolten winningstoestand vervoerd. Het gaat in verwarmde tankwagons over de spoorlijn naar Gdansk. In de haven wordt het overgepompt naar verwarmde zwavel-tankers en vervolgens, nog steeds in vloeibare vorm, overzee naar de klant gebracht.

Voor een mineraloog/verzamelaar is dit niet interessant: gesmolten zwavel of een hoop van recent gesmolten en gestolde zwavel! Om de natuurlijke, gedegen zwavelbrokken van enkele meters groot aan te raken en mooie kristallen in holtes te zoeken moet je naar een groeve, de voormalige open pit-mijn van Machów (afb.9). Vanuit Tarnobrzeg richting zuid zie je aan je linker hand het enorme gat. Al vanaf 1992 is men bezig om deze groeve te sluiten! Vanwege allerlei milieu-eisen kan men niet zomaar pompen uitschakelen en wegwezen. De eigenaar is aansprakelijk en dient voor een verantwoord afsluiten van de groeve en bijbehorende omgeving te zorgen. Al jaren is men dan ook bezig de bodem van de groeve te bedekken met gesteente en kleien van de storthoop. Het zal nog een paar jaar in beslag nemen en tot nu toe kun je dan ook vanaf de uitkijkpost nog zwavel in de groeve zien. Je kunt ook naar beneden met een auto en met een gids. Dat kost wel wat, maar in 1997 was ik drie uur met zeven studenten voor ca 50 NLG in de groeve. Onze gids had mooie hauerietkristallen te koop. Deze kun je zelf niet vinden, maar strontianiet, gips en zwavelkristallen wel! Voor zo'n excursie moet je je bij de directie melden. Ik vond het zeker de moeite waard!

Gipsafzettingen: Wielica, Gacki

Een deel van de chemische sedimenten van het Mioceen bestaat uit gips. Op de weg van Tarnobrzeg naar Kraków, in de Nida-vallei, kun je in de omgeving van Wielica en Gacki de nog steeds werkende gipsgroeves bezoeken. Gips wordt gebruikt in de bouw. Natuurlijk gips moet concurreren met kunstmatig calciumsulfaat, dat ontstaat bij het ontzwellen van de rookgasen in elektriciteitscentrales. In de wanden van de groeve zijn meters grote zwaluwstaartweelingen van gips te zien!



Afb. 8. Het ontginnen van zwavel met de Frash-methode, gebaseerd op het lage smeltpunt van zwavel. Heet water gaat het boorgat in, vloeibaar zwavel komt eruit. Jeziórko-mijn bij Tarnobrzeg, Polen.
Foto: Bas Bossers.

Literatuur

Atlas samochodowy Polski, kaarten 1: 300 000. Er is ook een editie op schaal 1: 250 000. Deze uitgebreide kaart van Polen is **onmisbaar** om de kleine dorpjes te vinden.

Toeristisch: ANWB reisgids Polen, 1993.

Geology of Poland, vol.VI, Mineral Deposits, 1990. Engelstalig, beknopt maar volledig overzicht van de minerale grondstoffen van Polen.

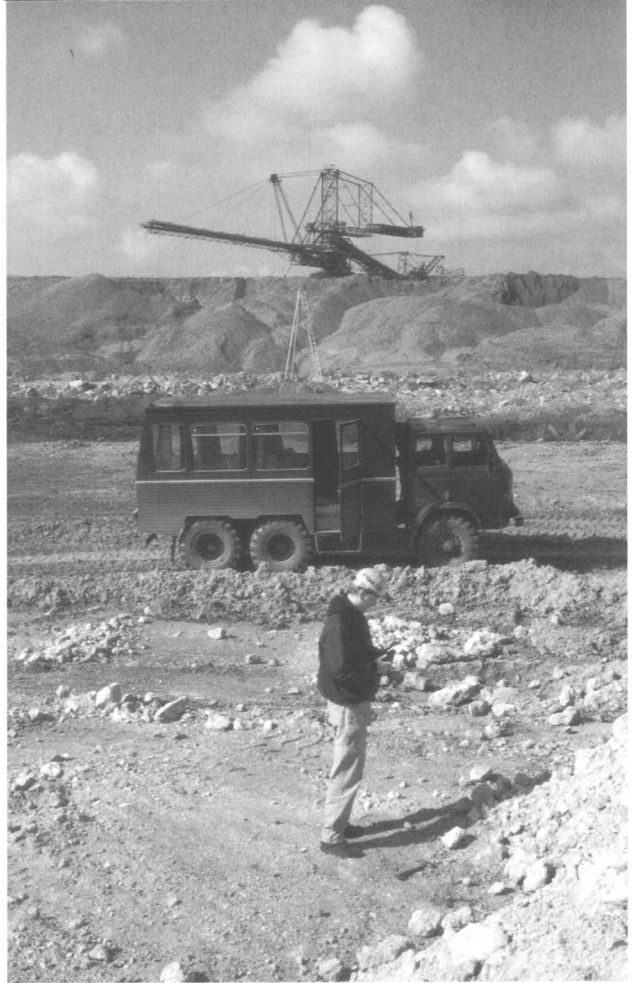
Tatry Polskie, przewodnik geologiczny dla turystów. WG 1990. Geologische gids voor de Poolse Tatra voor toeristen.

Kamienie ozdobne Polski, W. Heflik, 1989. Sierstenen van Polen.

Kamienie szlachetne i ozdobne Slaska, M. Sachanbinski, 1980. Edelstenen en sierstenen van Silezië.

Mineraly Dolnego Slaska, Inst. Geol. 1986. Een volledige encyclopedie van mineralogisch onderzoek in Silezië. Met referenties, optische eigenschappen, chemische samenstelling voor alle mineralen en per mineraal alle vindplaatsen. Ook met een geografische index. Mooi maar uitverkocht!

*Afb. 9. Op zoek naar zwavelkristallen op de bodem van de Machów groeve. Ook strontianiet kun je hier vinden.
Foto: Bas Bossers.*



Wetenswaardigheden

Geologische route in Polen

Een normale mineralogisch-grondstoffenkundige excursie van 14 dagen, zoals wordt georganiseerd voor VU-studenten, is ca 3500 km lang: van Nederland naar Lubin (kopermijn), Nowy Kosciół (agaat), Strzegom (rookkwarts), Szklary (chrysopraas), Wrocław (museum), Belchatów (bruinkool) + Czestochowa, Warszawa, Tarnobrzeg (zwavel), Wieliczka (zout), Kraków, Pieniny, Zakopane Tatra, Chrzanów (lood/zink).

Een alternatieve route met barnsteen is 4000 km, bijvoorbeeld: Nederland, Poznan, Gdansk, Malbork, Warszawa, Tarnobrzeg, Wieliczka, Pieniny, Zakopane, Szklary, Strzegom.

Mineralogische excursies

Kring Kennemerland van Stichting GEA organiseerde in 1991 een 10-daagse mineralogische excursie onder leiding van drs. E.A.J. Burke, waarbij aan Poolse zijde mev. dra. Malgorzata Baranowska van de Universiteit van Wrocław meewerkte.

De excursies van de Universiteit van Wrocław zijn inmiddels in een semi-commerciële onderneming ondergebracht: "WRO-MIN", die mineralogische excursies aanbiedt met programma's die vergelijkbaar zijn met het beschrevene in dit artikel. Tegenwoordig is ook een aparte barnsteen-excursie van 7 dagen mogelijk. Voor informatie: mgr Malgorzata Baranowska, pl. M. Borna 9, PL 50-205 WROCLAW, Polen.

Mineraalbeurzen

Mineraalbeurzen worden in Polen steeds vaker georganiseerd. In Warszawa, Politechnika Warszawska (Technische Universiteit) zijn er regelmatig beurzen. In Kraków organiseert de Akademia Górniczo-Hutnicza rond de dag van de heilige Barbara (4 december), patrones van de mijnwerkers, een beurs en een wedstrijd om de beste collecties. Dit ter beoordeling van een jury van professionele mineralogen. Naast amateurs van mineralogie en paleontologie uit Polen zijn er ook deelnemers uit de vroegere Sovjet-Unie met interessant materiaal. Ook in Wrocław worden beurzen georganiseerd.

Poolse verzamelaars en handelaren komen steeds vaker naar Nederland; opvallend zijn de stands met barnsteen, fossielen en schalenblende. Als u iets koopt met een exotische naam voor de vindplaats, bijvoorbeeld met een aantal onmogelijk uitsprekbare medeklinkers achterelkaar zoals "Strzegom, Trzebieńka of Strzebrzeszyn", dan kan men deze locaties aan de hand van dit Gea-nummer gemakkelijk in een geologische context plaatsen.

Mineraalwinkels

Deze vind je tegenwoordig in alle grote steden van Polen. Een van de beste is gevestigd in Kraków in het gebouw van de Akademia Górniczo-Hutnicza, Mickiewicza 30, waar ook een vrij toegankelijke, permanente tentoonstelling over geologie en minerale grondstoffen van Polen is.