

Poolse zoutmijn op de UNESCO-werelderfgoedlijst**Wieliczka - de zoute parel van Europa**

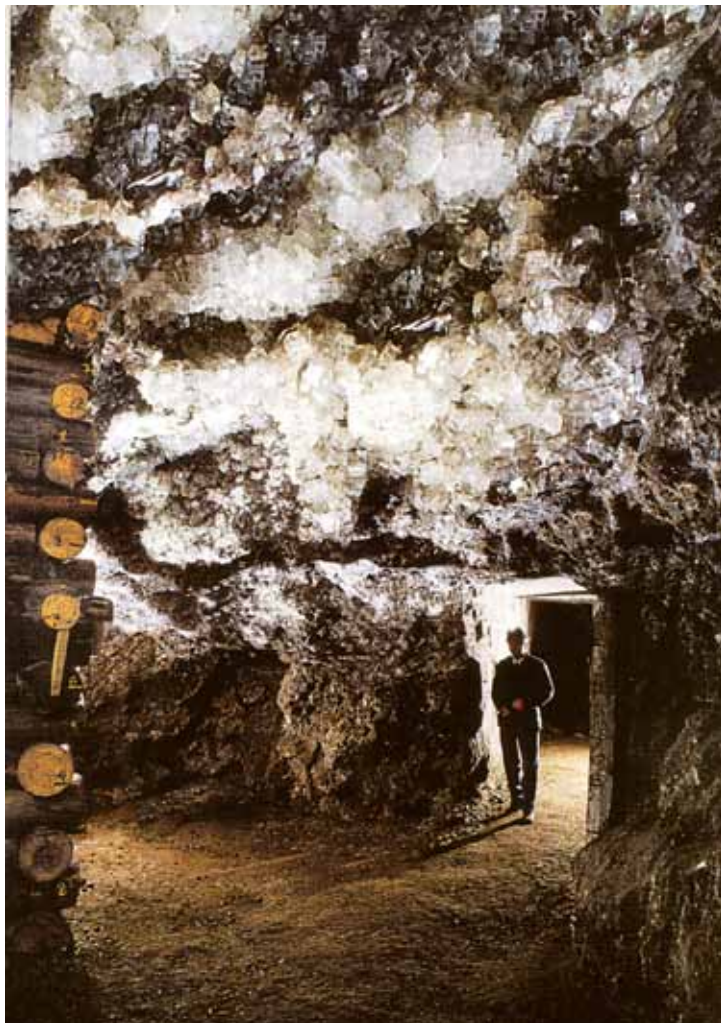
door A.A. Slupik

Wieliczka is een kleine stad in het zuiden van Polen en ligt 12 km ten zuidoosten van Krakow - een bekende historische stad. Wieliczka huisvest de oudste zoutmijn van Europa en is tevens de enige plaats ter wereld waar sinds de middeleeuwen onafgebroken mijnbouw wordt bedreven.

Naam

Voor het eerst komt de naam van Wieliczka voor in het privilege-document uit het jaar 1044 van de Poolse koning Casimir I, waarin de naam "Magnum Sal alias Wieliczka" is vermeld. Mag-

Het wapen van de stad Wieliczka verwijst naar de zoutmijnbouw. Op het blauwe schild zijn traditionele mijnbouwwerktuigen afgebeeld: een houten hamer en twee kleine pikhouwelen.



num Sal betekent in het Latijn "groot zout" en was oorspronkelijk de naam van de stad. Dit in tegenstelling tot Bochnia, een andere stad in de buurt, waar ook zout in de ondergrond voorkomt en die toen 'klein zout' werd genoemd. In historische bronnen komt verder de naam Magnum Sal voor in een document uit de periode 1123 – 1125, uitgegeven door kardinaal Gilles van Tusculum, die in Polen als pauselijke legaat optrad. Door de eeuwen heen is de naam 'verpoolst' en veranderd in Wieliczka (fonetisch Vjeljetsjka).

UNESCO en het culturele erfgoed

In 1978 is de zoutmijn van Wieliczka toegevoegd aan de eerste werelderfgoedlijst van UNESCO. Wieliczka was één van de twaalf objecten (en sites) die door UNESCO waren gekozen als wereldmonument van cultuur en/of natuur. In de motivatie van de keuze staat het volgende vermeld:

"De historische en monumentale zoutmijn in Wieliczka is het enige mijnbouwkundige object ter wereld waar sinds de middeleeuwen tot heden onafgebroken mijnbouw wordt bedreven. De oorspronkelijke, originele uitgravingen zoals gangen, doorloop- en transporthellingen, exploitatie-kamers en -holtes, ondergrondse meren en talloze schachtjes en schachten met een totale lengte van 300 km zijn verspreid over negen exploitatie-niveaus tot een diepte van 327 m en geven in chronologische volgorde goed alle stappen weer van de ontwikkeling van de mijnbouwtechnologie door de historische perioden heen."

Maar de zoutmijn in Wieliczka is niet alleen het oudste werkende ondergrondse bedrijf en een industrieel monument. Het is ook een kunstmonument. De zoutmijn herbergt talloze beeldhouwwerken die in de afgelopen drie eeuwen door generaties mijnwerkers zijn gecreëerd. Dit maakt deze zout-

Afb. 1. 'Kristalkelders' liggen in een afgesloten laag van de Wieliczka-mijn (op een diepte van ca. 80 m). Sommige van de spectaculaire halietkristallen hebben een lengte van 80 cm. Bron: Podlecki, 2001.

mijn op wereldschaal zo uniek. Een combinatie van industrieel erfgoed en kunst, die voortvloeide uit religieuze overtuiging. En er is nog meer. Wieliczka is ook een geologische site. Dankzij de winning van het zout is het ondergrondse gangenstelsel ontstaan, waardoor veel betere inzichten in de geologische opbouw, geologische geschiedenis, processen, tektoniek, petrologie en mineralogie mogelijk werden gemaakt. Er bestaan daar ondergronds ook echte mineralogische schatten in kristalkelders (Afb. 1). Dankzij deze mijn is men in staat gesteld om tot ruim 300 m de diepte in te kijken en alles daarin direct waar te nemen. Daar, onder de grond omringd door de 'pure', echte geologie. Een plek waar geologie, industriële geschiedenis en kunst samenkomen en elkaar ontmoeten. Een plek om te bewonderen en van te genieten.

Wieliczka staat symbool voor de prestaties van de maatschappij gedurende zeven eeuwen. Van de gewone werklui - de mijnwerkers - tot de wetenschappers en de koningen aan toe. Het is tevens een historisch beeld van de lokale maatschappij die tot stand is gekomen door de zoutwinning en zijn historische ontwikkeling heeft doorgemaakt dankzij deze zoutmijn.

De mijn telt negen niveaus (verdiepingen). Het bovenste niveau ligt 64 m onder het oppervlak en het diepste mijnniveau ligt op 327 m. De gangen hebben een totale lengte van 300 km. Er zijn ondergrondse meren, versierde kapelletjes met beelden en lusters in zout die door mijnwerkers zijn uitgehouwen.

In de zeven eeuwen lang durende mijnbouw zijn er 7,5 miljoen kubieke meters zout gewonnen en van de ondergrond naar de oppervlakte overgebracht.

Geschiedenis

De eerste sporen van nederzettingen in de omgeving van Wieliczka zijn ongeveer 5000 jaar oud, en dateren dus van de late Steentijd ofwel het Neolithicum - een tijdspanne van 4500 tot 1700 jaar voor onze jaartelling. In die tijd ontdekten de mensen de zoutwaterbronnen in de omgeving en gingen zich vestigen in de nabijheid van die bronnen. Ze bouwden nederzettingen. Ze verbouwden graangewassen en hielden zich bezig met veeteelt. Het zoute water gebruikten ze als bron van zout. Door het water eerst aan de kook te brengen en vervolgens helemaal te laten verdampen verkregen ze het zout dat in 'de pan' achterbleef als een laagje kleine zoutkristallen.

Op de plekken waar de bronnen ontsprongen, ontstonden kleine poelen gevuld met zout water. Mensen putten het zoute water direct uit die poelen. Echter, in de loop van de tijd werden die oppervlaktepoelen leeggehaald of droogden ze uit door werking van natuurlijke processen. Men werd gedwongen de bronnen uit te diepen om bij nieuwe voorraden zout water te kunnen komen. Er werden kuilen gedolven totdat men het niveau van de pekels - het met het zout verzadigde water - bereikte. Maar ook die uitgediepte bronnen droogden na verloop van tijd uit. De kuilen moesten steeds verder uitgediept worden. Op een gegeven moment ontstonden er diepere putten waaruit de pekels omhoog werd gehaald met behulp van schepemmers aan lange touwen. Waarschijnlijk tijdens het delven van de putten kwam men vaste blokken zout tegen. Niet meer zout opgelost in water, maar brokken zoutrots. Geen pekels meer maar vast gesteente. Men begon gericht te delven om bij dat gesteente te komen, de zoutbrokken los te peuteren en naar de oppervlakte te halen. De eerste schachten ontstonden, de zoutmijnbouw was geboren. We zijn inmiddels wel een tijdje in de geschiedenis opgeschoven. De oudste schacht die nu nog bestaat - de zogenoemde 'Goryszowski schacht' - dateert uit de tweede helft van de 13^{de} eeuw. Deze schacht markeert het begin van 'echte' mijnbouw in Wieliczka. Voor die tijd werd alleen de natuurlijke zoutoplossing gebruikt als bron van zout. Het duurde in deze omgeving dus ca. 43 eeuwen lang vanaf het moment dat mensen de natuurlijke zoute bronnen ontdekten tot het begin van de ondergrondse zoutwinning. Al die eeuwen lang werd pekels gebruikt als bron van zout. Gedurende die tijd werd heel veel water aan de kook gebracht en verdampt.

Er zijn in deze streek geen archeologische en historische aanwijzingen van een duidelijke bevolkingstoename vóór de 11^{de} eeuw. Wieliczka was een kleine nederzetting waar in de buurt op kleine schaal zout was gewonnen en verhandeld. De economische groei van Wieliczka viel tussen de 11^{de} en 13^{de} eeuw. In die periode is de nederzetting groter geworden en economisch sterker. De groei werd voortgezet in 1289, toen aan Wieliczka stadsrechten werden verleend door Hendrik IV, hertog van Silezië en Krakau. In 1368 heeft de Poolse koning Casimir de Grote het wettenstelsel voor de mijn in een statuut vastgesteld. Dat document bepaalde de rechten en plichten van verschillende beroepsgroepen. Het definieerde ook de boekhoudprincipes van de mijn, zoals de contributies aan de Poolse staat, het vaststellen van de vergoedingen voor het werk en de prijzen voor het zout. Met dat document was de officiële regelgeving voor de zoutmijnsector een feit en de zoutmijnbouw kwam tot bloei.

Het witte goud

Sinds prehistorische tijd tot na de middeleeuwen toe was zout heel schaars en daardoor ook heel duur. Het werd het witte goud genoemd. Het was een belangrijk betaalmiddel vóór de invoering van het muntgeld. In vroeger tijden werd zout gebruikt als conserveringsmiddel voor vlees, vis en boter. Toen was het pekelen de enige ma-



Afb. 2. Een scène van de zoutmijn in vroegere tijden: Hakken en bewerken van steenzoutblokken. Schilderij van Alfons Dlugosz (1902 - 1975). Bron: Muzeum Zup Krakowskich Wieliczka (het Museum 'Wieliczka zoutmijn' in Wieliczka, Polen).

Afb. 3. Bouw van een ondersteuningsconstructie ter voorkoming van instorting van het plafond in de exploitatiekamer. Schilderij van Alfons Dlugosz (1902 – 1975). Bron: Muzeum up Krakowskich Wieliczka (het Museum 'Wieliczka zoutmijn' in Wieliczka, Polen).



nier om producten langere tijd voor bederf te behoeven. Het zout werd ook gebruikt bij het looien van huiden en zat in het mengsel voor het aanmaken van buskruit. Het was een universeel middel met een breed scala aan toepassingen. De Poolse koningen werden zich al snel bewust van de waarde van het zout en stelden een monopolie in op de winning en handel van die delfstof. Zo vormde het zout een onuitputtelijke bron van staatsinkomsten. In de periode van de 10^{de} tot de 16^{de} eeuw, toen de Piast- en Jagiellon-dynastieën over Polen regeerden, werd de staatskas voor 1/3 deel gevuld met inkomsten gerelateerd aan de zoutwinning. In het midden van de 14^{de} eeuw financierde koning Casimir de Grote de Jagiellon Universiteit van Kraków met het 'zoute geld'.

De zoutmijn van Wieliczka had verschillende beroepsgroepen in dienst. Naast de mijnwerkers die direct bij de zoutwinning betrokken waren en de mensen die zich bezighielden met de administratie van het bedrijf waren er eigen timmerlieden, smeden en vatenmakers betrokken bij het runnen van de mijn (Afb. 2, 3 en 4). De mijn had eigen koks in dienst en er waren keukens bij de mijn - een soort voorlopers van de recente bedrijfskantines.



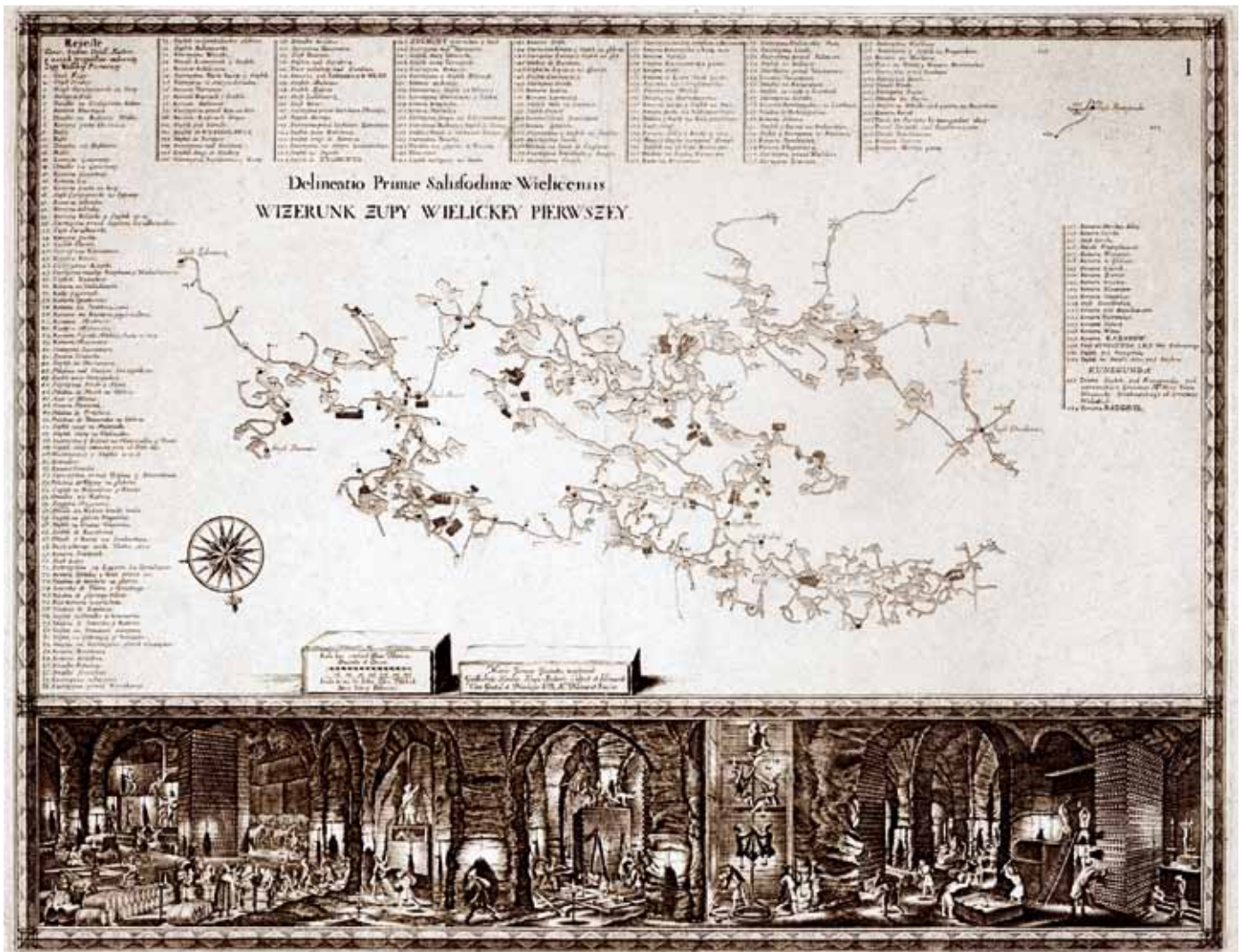
Afb. 4. Houten sleeën, 'szlafarze', voor ondergrondse transport van vaten gevuld met zout (XVII eeuw), in de ondergrondse expositie van het Museum Zoutmijn Wieliczka op het 3^{de} exploitatieniveau in de zoutmijn. Bron: Muzeum Zup Krakowskich Wieliczka (het Museum 'Wieliczka zoutmijn' in Wieliczka, Polen).

De mijn had zelfs eigen artsen in dienst en er werd een systeem van voorzieningen ontwikkeld voor de werkers die niet meer beroepsactief waren - een soort pensioenregeling. Het zoutwinnen was handarbeid. Het was zwaar en gevaarlijk. De mijnwerkers hakten zout van zoutblokken en ze werkten 'van binnenuit', zodat ze de omringende rotslagen intact lieten. De plafonds van de geëxploiteerde kamers werden ondersteund met houten palen om instorten te voorkomen. Toch gebeurden er in de mijn veel ongelukken. Regelmatig raakten er mijnwerkers gewond of kwamen ze om door vallende rotsblokken of instortende ondergrondse gangen. Al in 1363 werd in Wieliczka een hospitaal geopend voor behandeling en herstel van de tijdens het werk gewonde mijnwerkers. In de loop van de 14^{de} eeuw werd de exploitatie gemoderniseerd. Er werden tredmolens geïntroduceerd zodat de mijnwerkers niet meer met de hand de blokken zout aan touwen hoefden op te trekken. Vanaf de 15^{de} eeuw werden paarden ingezet als aandrijvingskracht voor het hefmechanisme van ondergrond naar oppervlakte en voor het trekken van karretjes en vaten met zout ondergronds. De mechanisering en technische innovaties maakten het mogelijk om dieper de grond in te gaan bij het zoeken naar meer voor de winning beschikbare zoutrotsen. De mijn werd in die tijd aanzienlijk uitgediept. In de 16^{de} eeuw groeide

de mijn uit tot de grootste industriële onderneming van Europa. Onder Oostenrijks gezag werden in de 19^{de} eeuw vernieuwingen aangebracht. Er werd een krachtcentrale gebouwd en een spoorverbinding met Krakow aangelegd. In de mijn werd de arbeid grotendeels geautomatiseerd. Er werden pneumatische hamers geïntroduceerd en een stoomlift geïnstalleerd.

Mijnplattegronden

In 1620 werd de bekende Zweedse landmeter Martin German door de mijnautoriteiten gevraagd om het ondergrondse van de zoutmijn op te meten en er plattegronden van te tekenen. Het werk was gereed in 1638. De plattegronden waren gemaakt op schaal 1:1266. Aan de hand van deze plattegronden heeft in 1645 de Nederlandse cartograaf Willem de Hondt (ook bekend onder de naam Willem Hondius) een serie van vier kopergravures gemaakt op schaal 1:3800. Hondius was toen in dienst van de Poolse koning en verbleef in de stad Gdansk (Danzig) in het noorden van Polen. De gravures zijn gesigeneerd met de namen German en Hondius en zijn gedrukt in de bekende Hondius cartografen-familieuitgeverij. Op de eerste gravure is de stad Wieliczka afgebeeld. De drie volgende werken zijn tweedelig. Bovenaan zijn respectievelijk de eerste, tweede en derde mijnniveau te zien. Onderin zijn de gravures rijkelijk aangevuld met



Afb. 5. Kopergravure van Willem Hondius uit 1645, uit een serie van vier. De gravures zijn gemaakt op schaal 1:3800 en gedrukt op een formaat van ca. 40 x 50 cm. De plattegronden zijn gebaseerd op betrouwbare landmeetkundige metingen van de Zweedse landmeter Martin German. Afgebeeld is de plattegrond van het eerste mijnniveau van de ondergrondse in de zoutmijn met de locatie van de schachten, exploitatie-kamers en ondergrondse gangen van dit niveau. De kopergravure is getiteld 'Afbeelding van de eerste zoutmijn in Wieliczka (Lat. Delineatio Prima Salifodinae Wielicensis)'. Onderin is de gravure voorzien van acht scènes met mijntaferelen, zoals het winnen van zout, het vullen van vaten, de paarden, het ondergrondse zouttransport, het bouwen van pijlers, de personenlift (met eigen verlichting!), het bewerken van zoutblokken tot 'zoutpoppen' (cylinders, gebruikt voor handel en transport); rechts de kapel. Bron: Muzeum up Krakowskich Wieliczka (het Museum 'Wieliczka zoutmijn' in Wieliczka, Polen).



Afb. 6. Beeldhouwwerk uit steenzout in de z.g. 'St. Kinga-kapel'. Detail uit 'De vlucht naar Egypte', met de St. Kinga, door Antoni Wyrodek. Bron: Podlecki, 2001.

iconografische beelden van mijninterieur en mijntafelrelen, zoals het werk van de mijnwerkers: het hakken en transporte-

ren van zoutblokken, het vullen van vaten, diverse gereedschappen, etc. (Afb. 5).

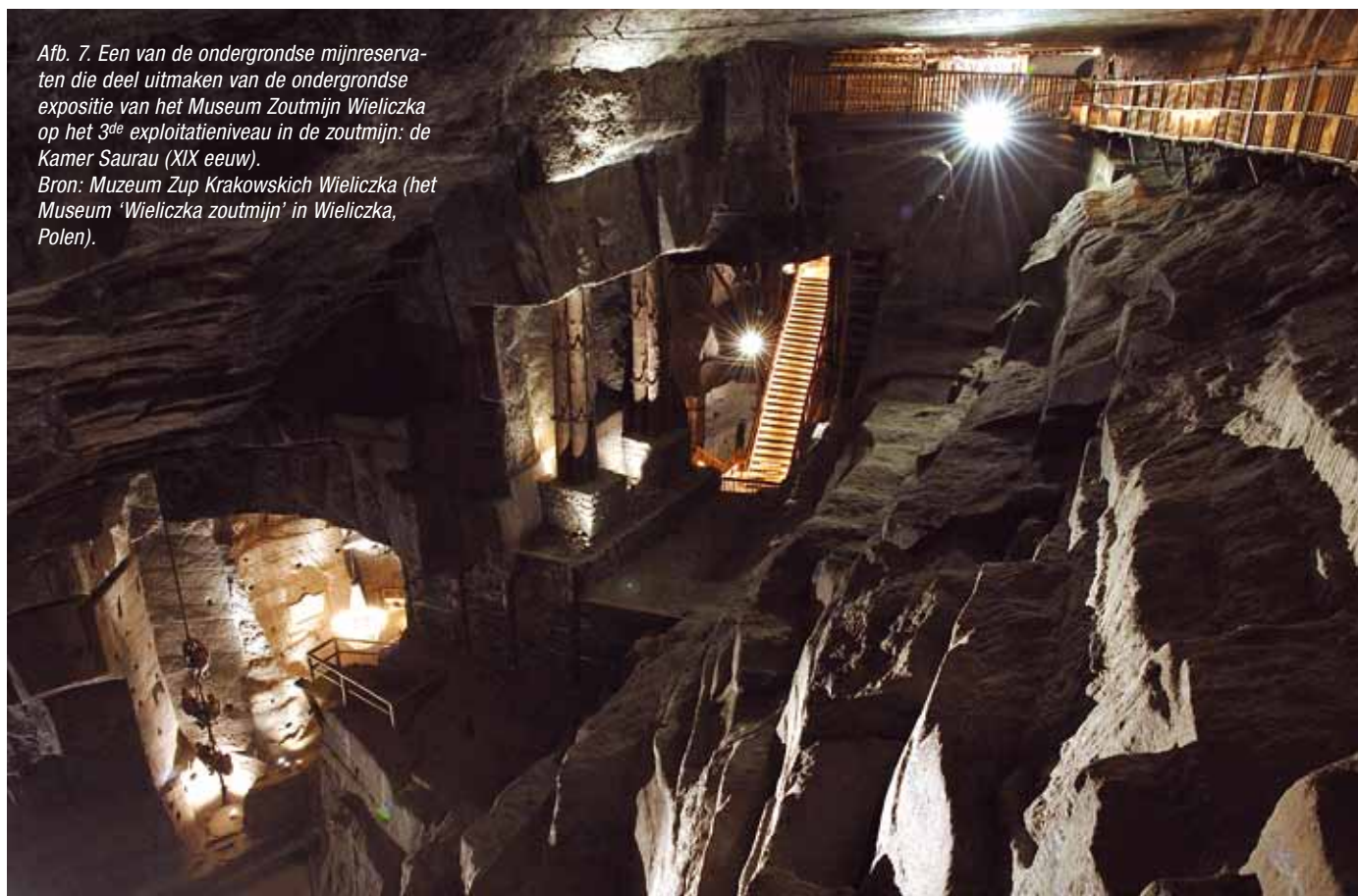
De gravures van Hondius zijn de eerste plattegronden van de zoutmijn in Wieliczka en ook de oudste mijnbouwplattegronden in Europa. Volgens deskundigen zijn dit de eerste plattegronden die zijn gemaakt aan de hand van echte, betrouwbare land-

meetkundige metingen. De beelden op de gravures zijn zeer realistisch, wat erop wijst dat Hondius de zoutmijn (meermalen) zelf heeft bezocht en aanschouwd en zijn werk niet alleen op de metingen en het verslag van German heeft gebaseerd.

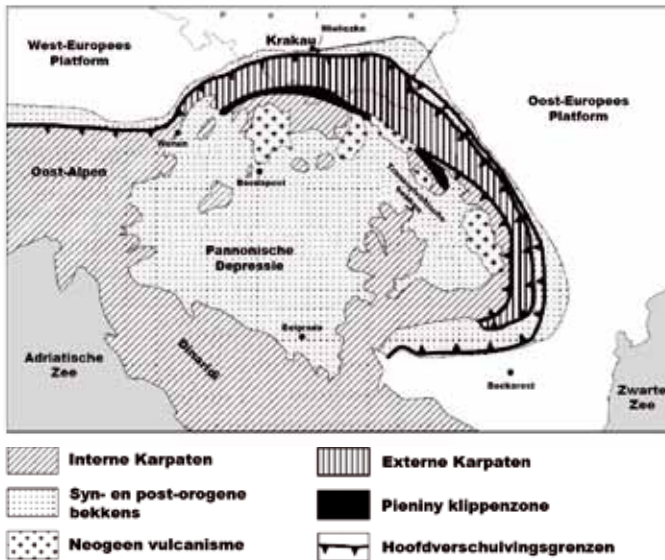
Religie

De gevaren die het werk in de mijn met zich meebracht maakten de mijnwerkers religieuzer dan andere bevolkingsgroepen. Het was een gewoonte voor de mijnwerkers om een houten kruis te plaatsen op de plek waar een mijnwerker tijdens het werk was verongelukt. Er werden ook ondergronds houten kapelletjes gebouwd waar werd gebeden voor de tijdens het werk omgekomen collega's. In 1697 ontstond brand in een van die kapelletjes. Toen verbood de koninklijke commissie altaren en standbeelden van brandbare materialen in de ondergrond te plaatsen. Er mocht geen hout meer gebruikt worden voor de interieurs van de kapellen. Dit verbod betekende het einde van het houtbeeldhouwwerk in de mijn, maar paradoxaal genoeg betekende dit verbod ook een ommekeer in de mijngeschiedenis. De mijnwerkers begonnen met het uithouwen van altaren en beelden in het zout zelf. Er werden geen opvullingen en versieringen van buiten naar de ondergrondse kapelletjes gebracht. Ze werden *in situ* gemaakt van het materiaal dat beschikbaar was – de zoutrots. Men begon beelden uit te houwen in de wanden van de door zoutwinning ontstane lege holtes. Een drie eeuwen lang durende traditie van het creëren van zoutkunstwerken was begonnen.

Het meest spectaculaire van alle ondergrondse kapellen is die van de heilige Kinga. Deze kamer bevindt zich op 101 m diepte en is 10 m hoog, 50 m lang en 15 m breed. De bouw van de kapel is begonnen in 1870 en duurde twintig jaar. Er werden enorme hoeveelheden zout weggehaald. De wanden van de ruimte werden daarna kunstzinnig bewerkt. Er werden beelden uit de Bijbel uitgehouwen (Afb. 6). Aan het plafond hangen forse kroonluchters, vervaardigd van zoutkristallen. In de zogeheten Michalowice-kamer hangt een kroonluchter van zoutkristallen



Afb. 7. Een van de ondergrondse mijnreservaten die deel uitmaken van de ondergrondse expositie van het Museum Zoutmijn Wieliczka op het 3^{de} exploitatieniveau in de zoutmijn: de Kamer Saurau (XIX eeuw). Bron: Muzeum Zup Krakowskich Wieliczka (het Museum 'Wieliczka zoutmijn' in Wieliczka, Polen).



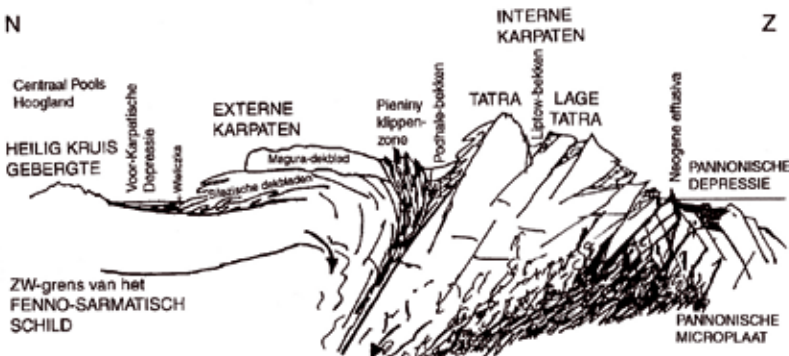
Afb. 8. Geologisch schema van de Karpaten met daarin de positie van het Poolse deel van het gebergte en de Voor-Karpatische Depressie en de ligging van de stad Wieliczka (volgens Cyran, 2008).

die 5,5 meter hoog is, een diameter van 3 meter heeft, en die 500 kaarsen kan bevatten. In een andere kamer, de Letow-kamer genoemd, werd een heuse balzaal ingericht waar vroeger het mijnorkest dansmuziek speelde voor bezoekende hoogwaardigheidsbekleders.

Toeristische attractie en heilzame werking

De zoutmijn met zijn ondergrondse werken heeft altijd in de belangstelling gestaan. Al sinds de 14^{de} eeuw werd de mijn regelmatig aan de gasten van de Poolse koning getoond. Aan het einde van de 15^{de} eeuw begonnen de eerste toeristische bezoeken aan de mijn. De mensen werden gedreven door nieuwsgierigheid naar de wereld die onder de grond verborgen is. Het uitgestrekte labirint van de talloze gangen en kamers trok de aandacht met zijn eigen charme en geheimzinnigheid. De bezoeken werden altijd in groepsverband gebracht en alleen hooggeplaatsten werden toegelaten, maar het doel van het bezoek was altijd het verkennen, waarnemen en bewonderen van die in de ondergrond verborgen wereld. In de loop der eeuwen werd de mijn bezocht door veel beroemdheden zoals Nicolaus Copernicus, Frederic Chopin, Johann Wolfgang Goethe, Dmitri Mendeleev en tsaar Alexander I. In recente tijden is de mijn een van de grootste toeristische attracties van Polen en wordt jaarlijks bezocht door ongeveer 1 miljoen bezoekers (Afb. 7).

Het zout werd vroeger een geneeskrachtige werking toegeschreven op veel lichamelijke aandoeningen en ziektes en werd gebruikt om die te genezen. De heilzame werking van zout was al in de middeleeuwen bekend. Het baden in het zoute water



Afb. 9. Plaattektonisch model van de verschillende geologische eenheden in de Karpaten (volgens Fraaye & De Vries, 1998).

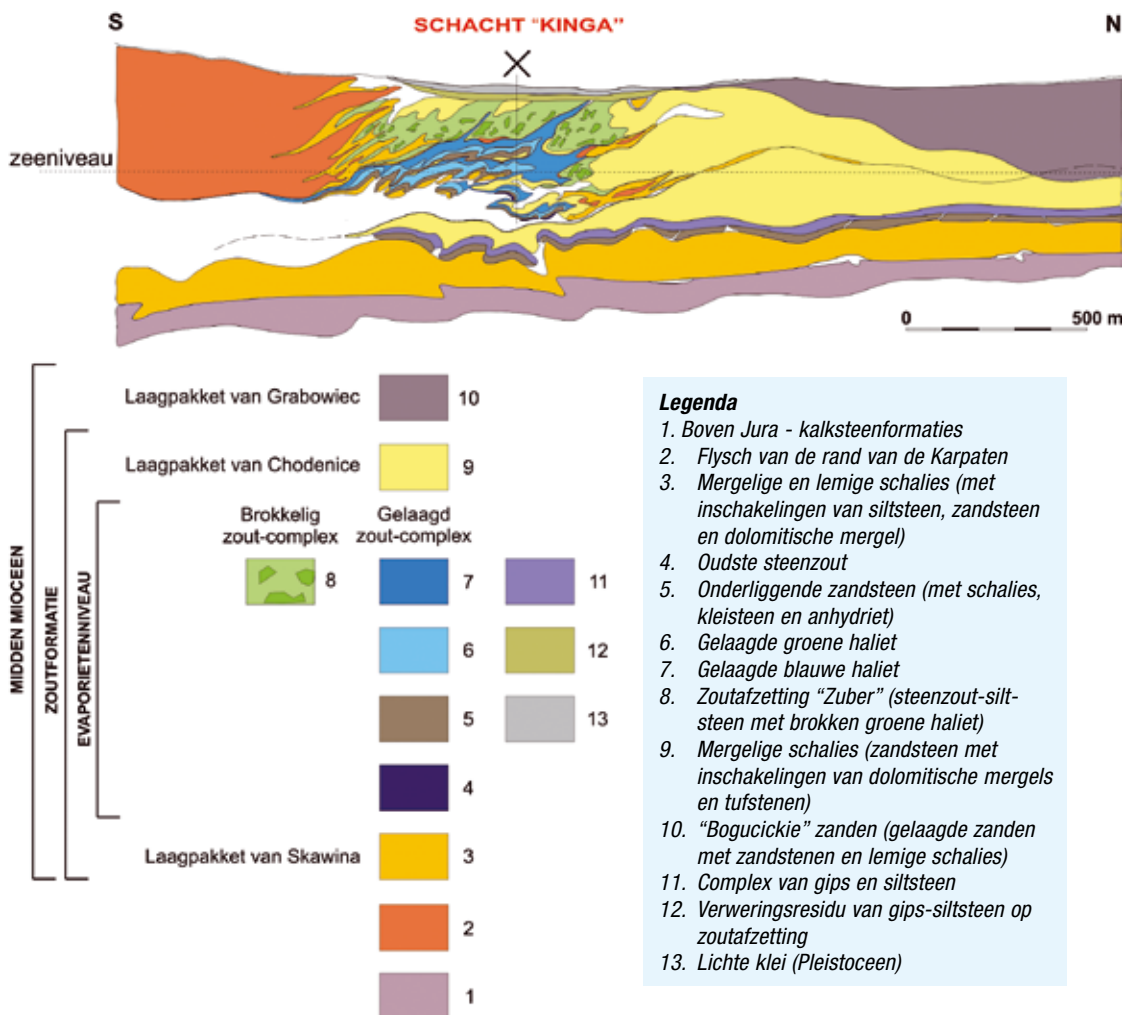
verlichtte de klachten, nam de pijn weg en had een ontspannende werking. Zout werd beschouwd als een goed middel tegen hysterie en tegen onvruchtbaarheid. Ook werden er patiënten behandeld tegen impotentie. Ook werd er beweerd dat de zeer droge lucht, de constante temperatuur van ca. 14°C en het specifieke ondergrondse microklimaat goed zijn voor de luchtwegen. In de jaren '50 van de vorige eeuw is er een sanatorium ondergronds met enkele behandelkamers ingericht (en is nog steeds in gebruik) voor patiënten met luchtwegaandoeningen.

De geologie van de zoutserie van Wieliczka

Om de geologie rond Wieliczka goed te begrijpen, wordt eerst de vorming van de Karpaten beschreven. In het zuiden van Polen ligt het Karpaten-gebergte. Dit gebergte is in het Tertiair ontstaan en vormt een onderdeel van de Alpiene gebergtegordel die zich uitstrekt van de Atlantische Oceaan in het westen tot de Himalaya in het oosten. In Europa behoren de Zuid-Europese bergketens tot de Alpiene gebergtegordel: de Pyreneeën, Betsische Cordilleren, Apennijnen, Alpen, Karpaten, Balkan en Kaukasus.

De Karpaten zijn de meest noordelijk gelegen bergketen van de Alpiene gordel. Het gebergte heeft de vorm van een boog en strekt zich uit vanaf Wenen in het westen (vanaf de Oostelijke Alpen) tot het zuidoosten van Roemenië in het oosten. De Karpaten worden ingedeeld in een westelijk en een oostelijk deel. Geologisch gezien bestaan de Karpaten uit twee structurele complexen: de externe en interne Karpaten (respectievelijk de buiten- en de binnenboog van de bergketen) (Stupnicka, 1997) (Afb. 8 en Afb. 9). De externe Karpaten zijn opgebouwd uit siliciklastisch sedimentair gesteente, voornamelijk zandstenen en schalies van het flysch-type. De sedimentatie vond plaats vanaf Laat-Krijt en duurde tot eind Paleogeen. De interne Karpaten bestaan uit kristallijne (graniet)massieven en Mesozoïsch sedimentair gesteente. In Polen ligt het meest noordelijke deel van de westelijke Karpaten, waarvan de interne Karpaten een klein deel uitmaken en de externe Karpaten een groot deel. Tussen de interne en de externe Karpaten ligt het Pieniny Gebergte, de zogenoemde Pieniny klippenzone. Dit gebergte is opgebouwd uit sterk geplooid Mesozoïsch kalkformaties en heeft een zeer gecompliceerde tektonische structuur. De Pieniny klippenzone is een smalle strook (met de breedte van 0,4 tot maximaal 19 km), die zich uitstrekt over een lengte van 600 km van west naar oost, en vormt als het ware een 'hechtingszone' tussen de binnen- en buitenboog van de Karpaten.

De gebergtevorming, het plooiingsproces van de interne Karpaten, vond plaats in het Laat-Krijt. De externe Karpaten werden geplooid in het Mioceen. De geplooid afzettingen werden naar het noorden verschoven, wat resulteerde in het ontstaan van enkele dekbladen in de externe Karpaten (de externe Karpaten hebben dekbladopbouw). Tijdens de orogenese ontstond aan de rand van het nieuwe orogeen een depressie: de zogenoemde Voor-Karpatische Depressie. Deze depressie ligt langs de noordelijke rand van de Karpaten, heeft een totale lengte van 1700 km en strekt zich uit van Moravië in het westen tot Oekraïne in het oosten. Binnen de Poolse grenzen ligt het meest noordelijke deel van deze depressie met een lengte van 340 km en een breedte van enkele tot enkele tientallen kilometers. De depressie behoorde tot de Paratethys. De Paratethys was een groot systeem van zeebekken dat zich uitstrekte ten noorden van de Alpen (in het noordelijke deel van de Tethys-oceaan), over de gehele zone die door processen van de Alpiene gebergtevorming beïnvloed was. Toen de bergggen van het nieuwe



Afb. 10. Geologische dwarsdoorsnede van zuid naar noord door de zoutafzettingen van Wieliczka in de omgeving van de Kinga-schacht. De gecompliceerde opbouw van de zoutformatie is opvallend; door de tektonische druk van de plooiende Karpaten in het Midden-Mioceen werden de evaporietafzettingen in de Voor-Karpatische Depressie geplooid en deels verschoven in noordelijke richting (volgens Poborski, 1965).

breed en 10 km lang en strekt zich uit van west naar oost langs de noordelijke kant van de dekbladen van de Karpaten. De zoutserie is deels geplooid en deels verschoven en daardoor zijn de geologisch-structurele opbouw en tektoniek heel ingewikkeld. Niettemin, door de mijnbouw is de ondergrond 'doorsneden' door gangen en exploitatiekamers en hierdoor was het mogelijk de geologie goed te verkennen (Afb. 11).

De zoutafzetting is in lithostratigrafisch en tektonisch opzicht tweedelig.

gebergte langzaam gevormd en omhoog gedrukt werden, ontstonden langs en tussen deze bergruggen zeearmen en binnen-zeeën. In deze bekkens vond intensieve sedimentatie plaats en in relatief korte tijd werden ze met de sedimenten opgevuld. Tegenwoordig zijn de Zwarte Zee, de Kaspische Zee en het Aralmeer nog de laatste overblijfsels van wat eens een enorme Paratethys-zee was.

Vanuit geologisch standpunt heeft de Voor-Karpatische Depressie relatief korte tijd bestaan. Deze ontstond in het Mioceen en werd nog in de loop van het Mioceen opgevuld met het klastische materiaal dat aangevoerd werd vanuit de jonge bergruggen die toen zijn ontstaan. De dikte van de sedimentopvulling in het Poolse deel van de depressie is 3000 m en neemt toe tot 5000 m in het Oekraïense deel. In het Midden-Mioceen, toen de meeste sedimentatie plaatsvond, heerste een warm klimaat. De Voor-Karpatische Depressie was een (deels) afgesloten zeebekken - had geen open verbindingen met de open Tethys-oceaan. In het warme klimaat was er intensieve verdamping van het zee-water. Dit heeft geleid tot het ontstaan van evaporieten. In het zuiden van het bekken is steenzoutafzetting ontstaan. Deze afzetting strekt zich uit over een lengte van ruim 60 km van Krakow in het westen tot Tarnow in het oosten. De dikte van de zoutformatie bij Krakow is 100 m en neemt toe tot maximaal 1500 m in oostelijke richting. Onder invloed van de plooiende en in noordelijke richting verschuivende dekbladen van het zich vormende Karpaten-orogeen is een deel van de autochtone zoutsedimenten uit het zuiden verplaatst naar het noorden en daar gestapeld bovenop de daar liggende autochtone zoutafzettingen. De zoutserie is opgebouwd uit haliet, anhydriet en/of gips, afgewisseld met klei en mergel. De allochtone serie is opgebouwd uit dezelfde soorten zouten als de autochtone serie. Zie voor het geologisch profiel Afb. 10.

De zoutserie van Wieliczka vormt een strook van 0,8 tot 1,5 km

Het onderste deel bestaat uit licht geplooid gesteentelagen met evaporieten. Deze afzettingen zijn in het sedimentaire bekken gevormd in gips- en anhydrietfaciës. Dit deel is autochtoon, d.w.z. het bevindt zich *in situ* op de plek waar het is ontstaan. Het werd niet verschoven door latere tektonische bewegingen. Het bovenste deel bestaat uit afzonderlijke, enorm grote steenzoutbrokken die ingeklemd zijn in klei-, silt- en zandsteen. Deze afzettingen zijn afgezet in het meer naar het zuiden gelegen deel van het bekken. Ze zijn ontstaan in de chloridenfaciës (zie verderop). Door de tektonische bewegingen van de Karpaten werd dit deel naar het noorden verschoven en kwam terecht bovenop op de autochtone serie. Dat bovenste deel is dus een allochtone structuur.

De gehele dikte van de zoutserie - de autochtone en de allochtone serie samen - varieert bij Wieliczka van 250 tot 400 m. Het steenzout dat in de zoutmijn van Wieliczka sinds eeuwen wordt gewonnen is afkomstig uit die enorme zoutbrokken. Het is allochtone zout, opgeschoven vanuit het zuiden.

Mineralogie

Steenzout hoort tot de groep van de halogeniden. Dit is een groep eenvoudige verbindingen waarin een halogeen gebonden is aan een alkalimetaal of een aardalkalimetaal. Tot de halogenen behoren chloor (Cl), fluor (F), broom (Br), jodium (J) en astatium (At). Halogenen treden op met grote monovalente (eenwaardige) anionen en binden zich aan monovalente metaalkationen zoals natrium (Na) en kalium (K), of bivalente (tweewaardige) kationen zoals calcium (Ca) en magnesium (Mg). Steenzout is de benaming voor het mineraal haliet en ook voor het monomineraal gesteente dat uitsluitend uit haliet bestaat. Haliet is een natriumchlorideverbinding en de chemische formule is NaCl.

Haliet is kubisch en komt meestal voor als eenvoudige hexaëders (kubussen) en heel soms als octaëders. Hardheid is 2½, soortelijk gewicht is 2,2. Zuivere haliet is kleurloos of wit en is

doorzichtig of doorschijnend. Onzuiverheden veroorzaken verkleuringen. Roodachtige kleur komt door hematiet, bruine tinten komen door de aanwezigheid van bitumineuze stoffen en een grijze kleur komt door kleimineralen. Blauwachtige verkleuringen wijzen op beschadiging van het kristalrooster door radioactieve straling van kaliumisotopen. Haliëet is glasglanzend en heeft een schelpvormig breukvlak. Het lost heel gemakkelijk op in water en heeft een zoute smaak.

Natriumchloride is een wijdverspreid mineraal op aarde. Het ontstaat tijdens verdamping van zeewater - het proces van evaporatie in een warm klimaat.

Zeewater bevat heel veel diverse opgeloste zouten. Op het land komt het sediment los van vast gesteente door het erosieproces. Rivieren die van het land naar de zeeën stromen, veroorzaken enorme hoeveelheden minerale sedimentdeeltjes en deeltjes in oplossing, waaronder zouten. Vaste sedimentdeeltjes zinken in de zee naar de bodem en vormen sedimentaire laagjes - het afzettingsgesteente. Zouten zijn opgelost in het water en 'zweven' daarin in de vorm van ionen - positief geladen kationen en negatief geladen anionen.

De oplosbaarheid, d.w.z. de snelheid van het oplossen, varieert per groep zouten. Er zijn zouten die heel snel in water oplossen, zoals de chloriden, waaronder keukenzout. Er zijn zouten die minder snel in oplossing komen, zoals sulfaten waartoe gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en anhydriet (CaSO_4) behoren. De carbonaten ten slotte (waaronder calciumcarbonaat) lossen heel moeilijk in water op. De volgorde van oplossen is dus als volgt: chloriden, sulfaten, carbonaten.

Nu het omgekeerde. In het warme klimaat verdampt het water en kan het proces van ontstaan van de evaporieten op gang komen. 'Evaporiet' is een algemene benaming voor het gesteente dat gevormd wordt uit mineralen die neerslaan uit een oplossing rijk aan zouten ten gevolge van sterke verdamping. Dit kan gebeuren in afgesloten bekkens waar geen of zeer beperkte wateruitwisseling is met de open oceaan. Als verdampen sneller gaat dan aanvoer van vers water vanaf het land of uit atmosferische neerslag dan stijgt de concentratie van de zoutionen in het overgebleven water. Op een bepaald moment, als het verzadigingspunt wordt overschreden, slaan de mineralen neer. Dit gebeurt in de omgekeerde volgorde tot hun oplosbaarheid, van het moeilijkst tot het makkelijkst oplosbare. Als eerste slaan de carbonaten neer, gevolgd door de sulfaten. Als laatste zullen de chloriden neerslaan. Er ontstaat een karakteristieke opeenvolging van afzettingen met onderin de carbonaten, middenin de sulfaten en de chloriden aan de top. Dit is zeer karakteristiek voor evaporietafzettingen. Om de carbonaten te laten neerslaan moet de hoeveelheid water in het bekken met de helft verminderd zijn: dan slaan er kleine hoeveelheden kalkafzetting neer. De sulfaten, het gips dus, slaan neer als het watervolume tot ca. 20% is teruggebracht (met 80% is verminderd). Steenzout slaat pas neer als slechts 10% van het water in het zeebekken is overgebleven. Als het water nog verder verdampt, voor meer dan 95% van het oorspronkelijke volume, dan slaan de magnesium (Mg)- en kalium (K)- chloriden neer.

Tot slot

Evaporieten komen overal ter wereld voor en zijn van alle tijdperken. De bekendste zijn de zoutafzettingen van het Zechstein (= Laat-Perm) in Noord-Europa, waaronder die in Nederland, Duitsland en Polen. Deze afzettingen worden gekenmerkt door cycliciteit. De series, cyclotemen genoemd, zijn gevormd tijdens wereldwijde cycli van zeeniveau-veranderingen en herhaalde verdamping van ondiepe, afgesloten delen van epicontinentale zeebekkens.



Afb. 11. De mijn is onderhevig aan de krachten van de aarde. De betimmering barst onder de druk van de gesteentemassa en moet ongeveer om de tien jaar worden vervangen.
Bron: Podlecki, 2001.

Er zijn vijf cyclotemen bekend en de volgorde van evaporietsoorten in elke cycloteem is hetzelfde. Onderin zijn de carbonaten, middenin sulfaten en aan de top de chloriden. Kalksteen, gips, keukenzout dus. Het keukenzout als gesteente is heel plastisch en wordt dikwijls door de druk van het bovenliggende gesteente vervormd en plaatselijk omhoog gedrukt. Er ontstaan zo zoutdiapieren die zich nu bevinden tussen gesteentelagen van jongere tijdperken. Ook recent ontstaan zoutafzettingen door evaporatie. In zoutmeren - binnenmeren zonder uitstroomdebiet - is er verhoogde concentratie van zoutionen in het wa-

ter. Enkele voorbeelden van zoutmeren zijn de Kaspische Zee, het Aralmeer, Great Salt Lake, de Dode Zee en het Turkana-meer. Als er minder aanvoer van water is dan er verdampt, dan ontstaan zoutvlakten; ook daarvan wordt zout gewonnen. Ook zijn er kunstmatige zoutmeren aangelegd - zoutpannen, zoals die van Curaçao en Bonaire, die al eeuwenlang belangrijke leveranciers van zout zijn.

Zout is heel belangrijk voor de mens. Het jaarlijks verbruik is ongeveer 7,5 kg zout voor ieder individu. Zout is tegenwoordig een onontbeerlijke stof voor de chemische industrie, die zeer grote hoeveelheden zout verbruikt, voornamelijk voor de productie van natriumverbindingen, chloor en chloorverbindingen. Er zijn ca. 18 000 toepassingen van haliëet bekend. Het meeste zout wordt verkregen van steenzoutafzettingen. Het zout wordt doorgaans ondergronds opgelost met heet water en vervolgens wordt de oplossing omhoog gepompt. De zo verkregen pekkel wordt verdampt en het zout blijft achter als een laagje zoutkristallen. Slechts een heel klein deel van het steenzout wordt gewonnen met traditionele mijntechnieken in zoutmijnen, waarvan één dan een heel bijzondere is: die in Wieliczka.

Dankwoord

Ik wil de directie van 'Museum Zup Krakowskich Wieliczka' (het Museum 'Wieliczka zoutmijn') in Polen bedanken voor het beschikbaar stellen van het beeldmateriaal voor de afbeeldingen 2, 3, 4, 5, 7 en 10 voor dit artikel. De afbeeldingen 1, 6 en 11 zijn afkomstig uit Podlecki, 2001.

Literatuur

- Cyran, K., 2008. Tektoniek van de Mioceen steenzoutafzettingen in Polen (in het Pools). PhD-thesis. Akademia Gorniczno-Hutnicza, Krakow. pp. 266.
- Fraaye, R.H.B. en De Vries, W.C.P., 1998. De geologie van Polen. *Gea* 31(3), p. 71-74.
- Podlecki, J., 2001. *Wieliczka, a royal salt mine*. Publishing house "Karpaty", A. Laczynski, Crakow.
- Poborski, J., 1965. *Historyczny rozwój poglądów na budowę geologiczną złoża solnego Wieliczki. Studia i materiały do dziejów zup solnych w Wieliczce*, I, pp. 37-54.
- Stupnicka, E., 1997. *Regionale geologie van Polen (in het Pools)*, 2^{de} editie. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa. pp. 348.