

De ijzerertsvoorkomens bij Kiruna en Gällivare (Zweeds Lapland)

door J.H.L. Voncken
J.H.L.Voncken@tudelft.nl

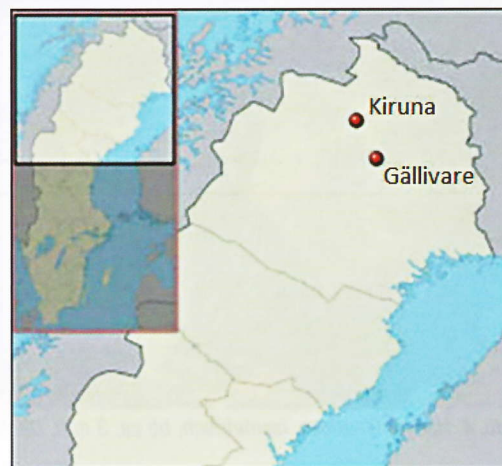
In Zweeds Lapland liggen bij de steden Kiruna en Gällivare talrijke voorkomens van hoogwaardig ijzererts, waarvan dat van Kiruna het grootste is (afb. 1). Al vele decennia lang zijn daar een aantal mijnen in exploitatie. De exploitatie is in handen van de *Luossavaara-Kirunavaara Aktiebolag (LKAB)*. (Een *Aktiebolag* - afgekort AB - is een soort naamloze vennootschap). LKAB is echter sinds vele jaren geheel in handen van de Zweedse staat. Afb. 2.

Het gehalte van het in Lapland gedolven erts is heel hoog. Het gemiddelde gehalte van het erts is ongeveer 61% Fe, 0,97% P, 0,03% S, en 0,07% Mn. Het belangrijkste ijzerertsmineraal in Kiruna en Gällivare is magnetiet (Fe_3O_4). Hematiet (Fe_2O_3) komt in kleine hoeveelheden voor. Bijna alle ertslichamen bij Kiruna worden gekenmerkt doordat ze relatief veel fluorapatiet ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) bevatten. Als belangrijk nevenmineraal vindt men actinoliet ($\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), een groenachtig, vezelig mineraal dat behoort tot de amfiboolgroep.

Geschiedenis

De mijnbouw in Kiruna begon in 1901; in Gällivare begon het al in 1741, bij de berg Illuvaara. Deze kwam later bekend te staan als de Gällivare Malmberg en uiteindelijk als Malmberget (De Ertzberg). De eerste trein met ijzererts vertrok in 1888. Ongeveer gelijktijdig met de oprichting van LKAB werd besloten de ertsspoorlijn (malmbanen in het Zweeds) van Luleå langs de mijnen van Gällivare en Kiruna naar Narvik in Noorwegen aan te leggen (afb. 3 en 4). Vanuit deze havens wordt het erts als gemalen erts, of voorbereid tot pellets ('ertsknikkers', afb. 5), uitgevoerd. Gällivare is in de loop der tijd aaneengegroeid met Malmberget en *Koskullskulle*. (De naam *Koskullskulle* is ontleend aan de stichter en gouverneur van de stad: *Georg Adolf Koskull*, 1780-1829).

De ertsvoorraad van Kiruna wordt momenteel geschat op 800 miljoen ton, inclusief de geprojecteerde extensies. Ondanks ruim een eeuw van mijnbouw is de ertsvoorraad in de regio rond Kiruna bij lange na nog niet uitgeput. Bij Kiruna komen een aantal ertslichamen voor: de ertsen van Kiirunavaara, Luossavaara en



Afb. 1. Kiruna en Gällivare in Zweeds Lapland. Wikimedia Commons.

Tuolluvaara, de zogenaamde Per-Geijer-ertsen, de Haukivaara-ertsen, de ertsvoorkomens genaamd Rektorn, Henry, en Nukutusvaara en het op 700 m diepte gelegen Lappmalmen-ertsvoorkomen. Per Geijer (1886-1976) was een Zweedse geoloog, die in het begin van de 20^{ste} eeuw de geologie van het gebied rond Kiruna en de ertsen van Kiruna en omgeving zeer uitvoerig heeft bestudeerd. De ertslichamen van Luossavaara en Tuolluvaara zijn inmiddels uitgeput. Mijnbouw vond daar plaats tussen 1920 en 1970. De hoofdmijn in Kiruna is daarna overgegaan van dagbouw naar ondergrondse mijnbouw (schachtbouw).

Geologie van het Kiruna-gebied

De geologie van het Kiruna-gebied wordt gedomineerd door een monosynclinale sequentie van vulkanoklastische en sedimentaire gesteenten, die naar het oosten toe steeds jonger worden. (Een vereenvoudigde geologische kaart is gegeven in afb. 6.) De stratigrafisch laagste eenheid in het gebied ligt discordant op het Archaische basement (afb. 7). Deze eenheid bestaat hoofdzakelijk uit conglomeraten. Hierboven vindt men de Kiruna-groenstenen (metamorfe gesteente dat zijn naam dankt aan het veelvuldig voorkomen van chloriet, epidoot of actinoliet), het Kurravaara-conglomeraat, de zogenaamde Kiruna-porfieren, sedimentaire en vulkanische gesteenten van de Beneden-Hauki Formatie en sedimentaire gesteenten van de Boven-Hauki Formatie. Deze vulkano-sedimentaire gordel is geïntrudeerd door verschillende suites van syeniet, granofier en



Afb. 2. Kiirunavaara, de berg bij Kiruna, waar het bedrijf LKAB sinds een eeuw ijzererts wint. Wikimedia Commons/Johan Arvelius.



Afb. 3. De ertsspoorlijn Luleå – Narvik via Kiruna. Wikimedia Commons.



Afb. 4. Een lege ertstrein uit Narvik met een IORE-locomotief nadert Kiruna. Wikimedia Commons/David Gubler.

graniet. De apatiethoudende ertsen komen alle voor in de Kiruna-porfieren en de Beneden-Hauki Formatie (Romer et al, 1994, eveneens verderop in deze paragraaf als bron gebruikt). Het onderste deel van de Kiruna-porfieren wordt gedomineerd door felsische tot mafische intrusieve gesteenten, die daar traditioneel syenietporfieren worden genoemd. Lokaal zijn ze extreem ijzerrijk (magnetiet-syenietporfieren). De syenietporfieren worden geïntrudeerd door een syenietgang (een zogeheten sill: een magmatische plaatvormige intrusie die parallel loopt aan de laagvormige structuur van het nevgesteente). Deze sill ligt ongeveer 500 m onder het erts en bereikt een dikte van ongeveer 1 km en een lengte van 10 km. Het bovenste deel van de Kiruna-porfieren bestaat hoofdzakelijk uit rhyodacitische pyroklastische gesteenten. Bij Luossavaara bevatten deze verscheidene insluitsels van conglomeraat met afgeronde stukken porfier en ijzererts.

Het onderste deel van de Hauki Formatie (afb. 6) bevat gesilici-



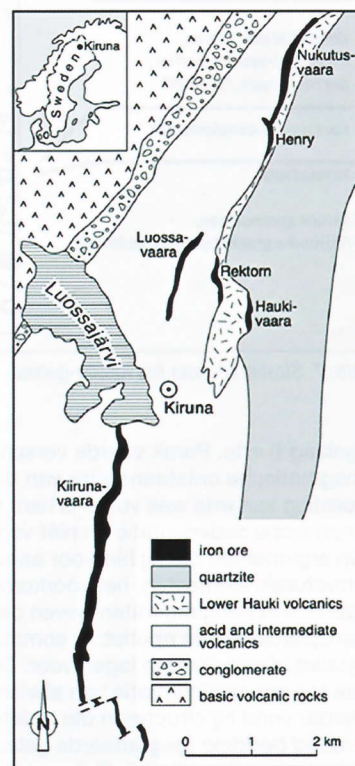
Afb. 5. IJzererts-pellets (ertsknikkers) uit Kiruna. De diameter van een pellet is ongeveer 1 cm. Wikimedia Commons/JJP.

ficeerde felsische tuffen met hematietrijke tussenvoegingen en amygdaloïdale mafische vulkanische gesteenten. Amygdalen of amygdalen vormen zich als gasbellen of blaasjes in vulkanische lava en worden opgevuld met een of meer secundaire mineralen. De Boven-Hauki Formatie omvat onder meer grauwackes en fyllieten in de laagste delen, en bestaat volledig uit kwartsieten in de stratigrafisch hoogste delen (Romer et al, 1994).

De apatiertsen in Kiruna zijn hoofdzakelijk lensvormig. Zij zijn concordant met de gelaagdheid en lithologische contacten in de gastheergesteenten. Op basis van stratigrafie en fosforgehalte kunnen zij in twee groepen worden verdeeld. De eerste groep bevat de Kiirunavaara- en Luossavaara-magnetietertsen. Deze komen voor aan het contact tussen syenietporfier en kwartshoudende porfier. Het gemiddelde fosforgehalte is minder dan 1%. De tweede groep bevat verscheidene kleinere ertslichamen (de eerder genoemde Per-Geijer-Ertsen). Deze hebben een fosforgehalte van 3-5%. Deze ertsen bevinden zich op het contact tussen kwartshoudende porfier en de daarboven liggende Hauki Formatie.

Het gesteente dat direct onder de ertsafzetting van Kiirunavaara en Luossavaara voorkomt (de *footwall*, ofwel de 'vloer' van het ertslichaam) bevat lokaal breccies, onregelmatige magnetietaders en grotere magnetietgangen. Actinoliet komt regelmatig voor als kleiner bestanddeel van de Kiirunavaara-ertsen. Het vormt impregnaties en schieren (onregelmatige strepen van verschillende samenstelling in sommige stollingsgesteenten), maar ook massieve zones bij de contacten met het nevgesteente.

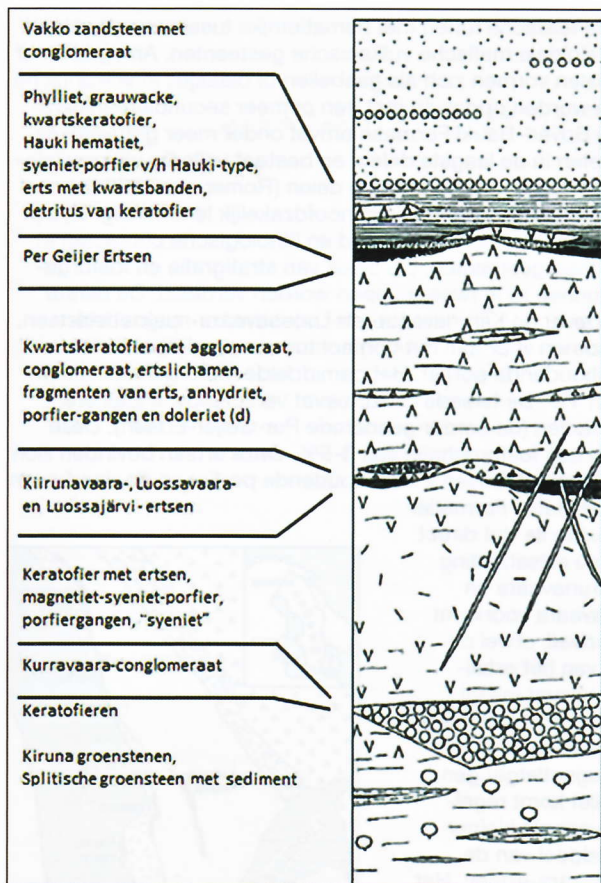
De porfieren van het Kiruna apatiet-ijzererts tonen verschillende types omzettingen, waarvan alkali-metasomatose het meest uitgebreid voorkomt. Van de gesteenten bij Kiruna is de ouderdom bepaald met behulp van de U-Pb-methode op titaniet uit magnetiet-titanietgangen in de *footwall* van het Luossavaara-ertslichaam. Romer et al. (1994) noemen voor de vorming van de ertsen een tijdsinterval van ongeveer 20 miljoen jaar, tussen 1900 en 1880 miljoen jaar geleden. Deze tijdsperiode valt in het Proterozoïcum, de laatste era van het Precambrium.



Afb. 6. Vereenvoudigde geologische kaart van het Kiruna-gebied, volgens Harlov et al. (2002) naar Parak (1975).

Genese van de Kiruna-ertsen

De genese van de Kiruna-ertsen is zeer uitvoerig bestudeerd. In eerste instantie werd uitgegaan van een magmatische origine (P. Geijer, 1935). In 1975 werd door T. Parak echter een andere theorie naar voren gebracht die uitging van een sedimentair-exhalatieve (*SedEx*) oorsprong. Dit betekent in principe dat de ertsen op de zeebodem gevormd zijn doordat uit de zeebodem-sedimenten hete ertshoudende hydrothermale vloeistoffen (*brines*, ofwel pekels) naar buiten treden die, omdat ze zwaarder zijn dan zeewater, zich ophopen in lokale depressies. Door kristallisatie en chemische sedimentatie ontstaat een stratiform



Afb. 7. Stratigrafie van het Kiruna-gebied, volgens Parak (1975).

(gelaagd) erts. Parak voerde verscheidene redenen aan om de magmatische ontstaanswijze van de ertsen te verwerpen. De vorming van erts was volgens hem hoofdzakelijk een gevolg van chemische sedimentatie en níét van mechanische sedimentatie. De argumenten die hij hiervoor aanvoerde zijn, afgezien van structurele elementen, het vóórkomen van afgeronde stukken ijzererts in conglomeraten boven de ertslichamen, de verdeling van ijzeroxiden en apatiet: in sommige delen komen ijzererts en apatiet afwisselend in lagen voor. Deze gelaagdheid schreef Parak toe aan sedimentatie van afwisselend magnetiet en apatiet. Verder vond hij structuren die hij interpreteerde als laminatie, *graded bedding* (gegradeerde gelaagdheid) en *cross bedding* (kris-kras-gelaagdheid). Ook voerde hij als argument aan dat er concordante monazietrijke lenzen en chloriethoudende tussenlagen voorkomen. Zijn sterkste argument was dat het gebande apatieterts lokaal op een continue manier, naar boven gaande in de stratigrafie, overgaat in geband kwartshoudend erts. Het sedimentaire proces vond volgens hem daarom plaats in een vulkanische omgeving.

In de afgelopen jaren is deze theorie echter weer verlaten en denkt men opnieuw aan een magmatische oorsprong. Hiervoor zijn diverse redenen aangevoerd (Frietsch, 1978, Romer et al., 1994; Harlov et al., 2002):

- de gesteentes bestaan zonder uitzondering uit zure tot intermediaire vulkanische gesteenten met een alkalirijk karakter;
- de contactrelaties tussen erts en nevgesteente: het erts heeft zich gedragen als een jonger magmatisch lichaam en komt vaak voor als een complex netwerk van erts en aders ('erts-breccie') in het nevgesteente;
- omzetting van het nevgesteente - de vorming van skarnmineralen (amfibool, ook pyroxeen en/of granaat) in verbinding met het erts en lokaal silicificatie en sericitisatie in een late fase van ertsvorming;
- de interne relatie tussen verschillende ertsfasen: apatietrijke varianten zijn altijd jonger en dringen in in de apatietarme varianten;

- de chemische samenstelling van de apatiet. Deze samenstelling verschilt van die van sedimentaire apatieten in zowel hoeveelheid als in verdeling van de fluor-chloor-hydroxyl (F-, Cl-, OH-), en in zeldzame aardelementen (Rare Earth Elements);
- co-existentie in hetzelfde gebied van zowel hydrothermale ijzerertsen (hematiet-impregnaties) en apatiethoudende ijzerertsen. Daarbij wordt de intieme relatie van beide aangetoond door een aanrijking in barium, terwijl de late hydrothermale ertsen verarmd zijn aan sporenelementen.

Nyström (1985) vermoedde een relatie tot carbonatiet-vulkanisme, met name omdat bij carbonatieten (carbonaat-stollingsgesteenten) vaak ook veel ijzererts voorkomt (met juist magnetiet als ertsmineraal) en eveneens veel apatiet. Ook zeldzame aardelementen komen veel voor in relatie tot carbonatieten.

De ertsen van Gällivare

Bij de ertsen van Gällivare gaat het om de ertsen van Malmberget ('De Ertsberg'). Deze ertsen komen net als die van Kiruna voor in Precambrische vulkanische gesteenten. Deze nevgesteenten zijn grotendeels gemetamorfoseerd tot gneis. Het erts is vergelijkbaar met dat van Kiruna, hoewel in sommige gedeelten vrij veel hematiet voorkomt. De hoeveelheden apatiet zijn variabel. Het ene ertslichaam bevat meer apatiet dan het andere. Het gemiddelde fosforgehalte is 0,8%. De meeste ertslichamen komen in een 6,5 km lange zone voor, terwijl in de diepte de ertsvoorkomens doorlopen. De bewezen reserves zijn 350 miljoen ton erts, met een gehalte van 43,8% Fe. Net als in Kiruna, kan ook hier kan de winning van ijzererts nog decennia lang verder gaan.

Dit artikel is een herschreven versie van het gelijknamige artikel van W.J.M. Scheres (1981), Gea, vol. 14, nr. 2. Het artikel van Scheres is digitaal – als pdf - beschikbaar via de link: <http://gea.natuurtijdschriften.nl/document/360059>

Contactgegevens van de auteur:

Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Afdeling Geosciences and Engineering, sectie Resource Engineering. Stevinweg 1, 2628 CN Delft

Referenties

- Frietsch, R. (1978). On the magmatic origin of iron ores of the Kiruna type. *Economic Geology*, 73, 478–485.
- Geijer, P. (1931). The iron ores of the Kiruna type: geographical distribution, geological characters, and origin. *Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), Ser. C (367)* 39 pp.
- Harlov, D.E., Andersson, U.B., Förstera, H.J., Nyström, J.O., Dulskia, P., Bromand, C. (2002). Apatite - monazite relations in the Kiirunavaara magnetite - apatite ore, Northern Sweden. *Chemical Geology Volume 191, Issues 1–3*, 15, 47–72.
- Mining Technology website: www.mining-technology.com.
- Nyström, J.O. (1985) Apatite iron ores of the Kiruna Field, Northern Sweden: Magmatic textures and carbonatitic affinity, *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 107, 2, 133–141.
- Parak, T. (1975) Kiruna iron ores are not "intrusive magmatic ores of the Kiruna-type". *Economic Geology*, 70, 7, 1242 - 1258.
- Romer, R.I., Martinsson, O., Perdahl, J.A. (1994) Geochronology of the Kiruna Iron Ores and Hydrothermal Alterations. *Economic Geology*, 89, 1249 – 1261.
- Scheres, W.J.M. (1981) IJzerertsvoorkomens bij Kiruna en Gällivare (Zweeds Lapland). *Gea*, vol. 14, nr. 2.
- Voncken, J.H.L. (2010) De IJzererts van Kiruna, Zweden. Kennislink, 5 februari 2011. <http://www.kennislink.nl/publicaties/de-ijzererts-van-kiruna-zweden>

Overige bronnen

Mining Technology.com
Diverse artikelen op Wikipedia