

## Nuttig gebruik reststoffen vraagt energie-analyse

**Citation for published version (APA):**

Lambert, A. J. D., & Marijnissen, J. C. M. (1989). Nuttig gebruik reststoffen vraagt energie-analyse. *De Ingenieur*, 101(1), 31-34.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1989

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Nuttig gebruik reststoffen vraagt energie-analyse

De bij de winning van minerale grondstoffen vrijgekomen reststoffen kunnen thans, dank zij nieuwe technologieën, beter verwerkt worden. Hierbij blijken het energie- en grondstofgebruik nauw met elkaar verweven te zijn. Aan de hand van de koperwinning wordt geïllustreerd dat over het nuttig gebruik van reststoffen slechts een uitspraak gedaan kan worden, als de studie van een energie-analyse vergezeld gaat.

**G**edurende de afgelopen decennia heeft de snelle technologische ontwikkeling in de mijnbouw de rendabele benutting van steeds armere en moeilijker winbare voorkomens mogelijk gemaakt.

Indien men de primaire winning van minerale grondstoffen vanuit een optiek beschouwt, die zowel economische als milieu-aspecten omvat, moeten naast geldstromen ook de massaan energiestromen terdege bekeken worden [1]. Voor de massastromen betekent dit, dat ook alle reststromen in beschouwing genomen moeten worden.

Hier toe moet onder andere een volledige balans van de massastromen opgesteld worden, inclusief alle reststromen. Men begint dan eerst met een volledige analyse van het desbetreffende ertsvoorkomen en kan van daaruit het hoofdproces ontwerpen. De hieruit voortkomende reststromen - die bij de winning uit arme ertsen zeer aanzienlijk kunnen zijn -, moeten eveneens geanalyseerd worden. Deze komen vrij nadat ze al een groot aantal (vaak energie-intensieve) bewerkingen ondergaan hebben en bevatten in het algemeen nog heel wat kostbare bestanddelen, terwijl ook voor een deel van de bulk (mits adequaat in verschillende mineralen gescheiden) in het algemeen een toepassing gevonden kan worden. De scheiding kost, evenals de eventuele extra bewerkingen, energie. Men zal dus moeten nagegaan of de voordelen van het gebruik van reststoffen tegen dat nadeel opwegen. Daartoe moet het energieverbruik voor de winning uit reststoffen voor bepaalde toepassingen met het energiegebruik bij conventionele winning vergeleken worden. Maar ook alle andere aspecten, zoals beslag op de ruimte, uitputting van voorraden, enzovoorts, moeten in dergelijke beschouwingen meegenomen worden. Om dit aan de praktijk te toetsen, wordt dit alles uitgerekend aan de hand van de z.g. *Duluth gabbro-afzetting* in

## Dr.ir. A.J.D. Lambert

De auteur is werkzaam bij de vakgroep Technische Productiesystemen aan de faculteit Bedrijfskunde van de Technische Universiteit Eindhoven

## Dr.ir. J.C.M. Marijnissen

De auteur is werkzaam bij de vakgroep Chemische Technologie aan de faculteit Scheikundige Technologie van de Technische Universiteit Delft

de staat Minnesota [2]. Het betreft een ertsvoorkomen dat naar schatting 28 miljoen ton koper (Cu), 8 miljoen ton nikkel (Ni) en onder andere kobalt (Co) bevat. Dit erts kan deels ondergronds, deels in dagbouw ontgonnen worden. Om een idee te krijgen van de enorme hoeveelheid reststoffen, zij vermeld dat het deel dat in dagbouw gewonnen kan worden slechts 0,5 % Cu en 0,1 % Ni bevat.

### De productieprocessen

De dagbouwwinning omvat hier het losmaken van het gesteente met behulp van explosieven en het vervoer per truck van de ertsbrokken naar de scheidingsfabriek. Gezien de lage ertsgraad moet een grote hoeveelheid erts per massa-eenheid Cu vervoerd worden. Daar komt bij dat, om dit erts aan de dag te brengen, ook grote hoeveelheden gesteente en los zand verplaatst moeten worden.

In de scheidingsfabriek worden de kopermineralen van de andere mineralen gescheiden. Hierbij ontstaat een grote reststroom, *tailings* genoemd. Scheiding kan pas plaatsvinden na ontsluiting van de mineralen door breken en malen. Vanuit energetisch oogpunt is dit een zeer inefficiënt proces.

In het Duluth gabbro komt het Cu in sulfidische vorm voor. De eigenlijke scheiding hiervan wordt bewerkstelligd door flotatie, waarbij de koperhoudende deeltjes, aan schuim gehecht, naar boven komen drijven in een bak met slurrie, waaraan chemicaliën toegevoegd zijn.

De massastroom die het hoofdproduct (de kopermineralen) bevat, is nu veel kleiner geworden. Het concentraat be-

vat in dit geval ruim 13 % Cu, wat relatief weinig is. In een smelter wordt het koper aan het concentraat onttrokken door drogen en smelten, waarna oxidatie van het zwavel tot SO<sub>2</sub> plaatsvindt. Zo ontstaat *blisters*-koper met een zuiverheidsgraad van meer dan 98 %, hetgeen voor verwerking echter nog onvoldoende is. Daarom wordt het *blisters*-koper nog in een speciale oven en vervolgens langs elektrolytische weg geraffineerd.

Door een modificatie van het hier beschreven proces kan men, naast het koper, het nikkel als co-product winnen.

### De massastromen

Zoals uit afbeelding 1 blijkt, komt bij het hoofdproces een groot aantal reststoffen vrij: schadelijke stoffen, zwak-schadelijke of inerte bulkstoffen en reststoffen waarin nog winbare hoeveelheden kostbare materialen aanwezig zijn. Het bij de elektrolyse vrijkomende anodeslib bevat bijvoorbeeld zeldzame metalen zoals goud (Au), zilver (Ag), platina (Pt), seleen (Se) en telluur (Te).

Tot de schadelijke reststoffen rekent men hier stof, vezelvormige mineralen (zoals asbest), met zware metalen verontreinigd water en zwaveldioxide. Een deel van deze stoffen kan men opvangen en terugvoeren naar het proces (interne recycling), een ander deel moet op een voor het milieu veilige manier behandeld worden. Het verwerken van reststoffen tot nuttige producten noemt men *waste-recovery*. Hierbij staat het opheffen van de schadelijkheid voorop. Een al veel toegepaste vorm hiervan is de verwerking van zwaveldioxide tot zwavelzuur.

Tot nog toe werd relatief weinig aandacht besteed aan de verwerking van de bulkstoffen, die niettemin de grootste massastromen vertegenwoordigen. Een van de belangrijkste reststromen vormen de *tailings* die gewoonlijk als slurrie de scheidingsfabriek verlaten en die in dit geval ca. 97 % van het erts uitmaken. Zij hebben een zeer energie-

intensieve bewerking (malen) ondergaan en hun opslag kost bovendien veel geld en ruimte. Uit onderzoek is gebleken dat met behulp van beproefde technieken uit de tailings in principe tal van nuttige produkten gewonnen kunnen worden. De tailings van het Duluth gabbro kunnen bijvoorbeeld bij de produktie van ijzer, pigment, cement en gietzand gebruikt worden. Om een massabalans sluitend te maken, dienen ook de massastromen in rekening gebracht te worden waaraan doorgaans weinig aandacht geschonken wordt, zoals proceswater, zuurstof en koolstofdioxide (dat in de atmosfeer verdwijnt).

### Energie-analyse

Hoewel de verwerking van reststoffen tot produkten dus in principe mogelijk is, wil dat nog niet zeggen dat dit bij de huidige stand van de techniek en de marktsituatie, ook rendabel is. Daartoe moeten de meerkosten van verwerking minder zijn dan de kosten bij de traditionele winningwijze van de beschouwde produkten.

Een belangrijk aspect van de kosten is het energieverbruik. Dit wordt berekend met behulp van een energie-analyse, waarbij gewoonlijk de benodigde produktiefactoren (grondstoffen, procesenergie, kapitaalgoederen, arbeid, enz.) naar energie herleid worden. Daarbij komt men tot het begrip 'bruto energie-inhoud' waarin alle energie die nodig is om tot het produkt te komen verdisconteerd is. Het energieverbruik dat aan de kapitaalgoederen toegekend wordt, is in energie-intensieve sectoren zoals de koperwinning van ondergeschikt belang.

De energetische aspecten van de primaire winning van Cu zijn door een aantal auteurs [3],[4] uitgebreid bestudeerd. Uit deze gegevens werden empirische betrekkingen afgeleid, zoals de formule van Chapman die de benodigde energie (in MWh) voor de produktie van 1 ton Cu als functie van het kopergehalte  $g$  (in %) aangeeft:

$E = [11,8/g - 0,15] + 7,5$  MWh/t Cu  
 Voor Duluth gabbro levert deze formule 41 800 kWh<sub>th</sub>/t Cu op.

Dit soort formules geeft uiteraard slechts een globale indicatie. Voor Duluth gabbro zijn ook meer gedetailleerde berekeningen uitgevoerd, waarbij het produktieproces in hoofdstappen opgedeeld is (delven, scheiden, smelten, raffineren), die op hun beurt weer uit een aantal deelprocessen opgebouwd gedacht werden. Zo zijn de relevante deelprocessen bij het delven: boren, pompen, schieten (met explosieven losmaken van het gesteente), afgraven, laden en transport.

Indien men het energiegebruik voor een der processen, bijvoorbeeld het transport, wil schatten, dient men veronderstellingen te maken omtrent de wijze van transport (bijvoorbeeld truck of conveyor), de te overwinnen hoogteverschillen en afstand, de schaal van de transportmiddelen en de terreincondities. De resultaten van dergelijke berekeningen zijn per hoofdstap opgeteld. De som van deze waarden (43 720 kWh/ton Cu) is van dezelfde orde van grootte als het resultaat dat met de formule van Chapman verkregen wordt. Omdat hier echter ook nog Ni als co-produkt gewonnen wordt, vraagt dit een extra hoeveelheid energie. Er blijkt in dit geval 52 472 kWh nodig te zijn voor de gezamenlijke produktie van 1 ton Cu en 0,18 ton Ni. In afbeelding 1 kan men deze waarde terugvinden door de getallen 26 810 en 34 212 bij elkaar op te tellen en hiervan de waarde 8550 bij de uitgaande pijl (warmterugwinning ten behoeve van de elektriciteitsproduktie) af te trekken.

Het gevonden energiegebruik kan vergeleken worden met de gemiddelde energiehoeveelheid die tegenwoordig nodig is om dezelfde hoeveelheid Cu en Ni rechtstreeks te verkrijgen. Voor

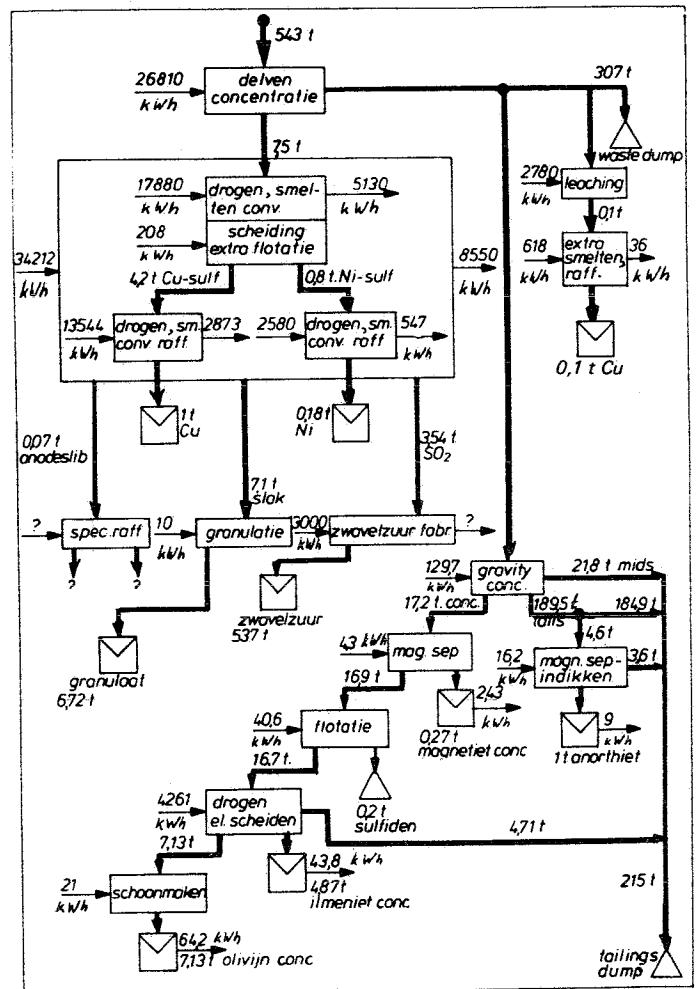
Ni bedraagt deze ongeveer 75 600 kWh/ton Ni.

In de afbeelding is voor de meeste reststromen aangegeven hoeveel energie het kost om ze in verkoopbare produkten om te zetten.

Om milieu-redenen moet het bij het hoofdproces vrijkomende SO<sub>2</sub> opgevangen worden. Het wordt gewoonlijk verwerkt tot zwavelzuur, waarvoor per eenheid produkt meer energie nodig is dan bij fabrieken die specifiek voor de zwavelzuurproduktie ontworpen zijn. De bij het smelten vrijkomende slakken worden gegraneleerd en als wegebouw materiaal verkocht. In de afbeelding is de prijs van vergelijkbare hoogovenslak aangegeven.

De grootste massastroom, vrijkomend bij delven en concentratie, bestaat uit twee grote delen, te weten het steriel en laagwaardig erts en de tailings. Het eerstgenoemde wordt (tijdelijk) opgeslagen, al kan uit het laagwaardig erts door een logingsproces soms nog koper vrijgemaakt worden.

Omdat de tailings al gemalen zijn, kost het relatief weinig energie om ze in de verschillende minerale bestanddelen te splitsen. Hierbij is vanzelfsprekend de mineralogische samenstelling van de tailings essentieel. Een andere rand-



Afb. 1 Energiegebruik bij hoofd- en nevenprocessen. De dikke pijlen zijn de massastromen, de dunne de energiestromen.

voorwaarde wordt gevormd door de marktomstandigheden: de afzet van laagwaardige bulkprodukten wordt sterk door de transportkosten beperkt. Voor Duluth gabbro-tailings is - uitgaande van deze overwegingen - in het laboratorium een optimale flowsheet voor het scheiden in de verschillende mineralen ontwikkeld.

Als eerste proces wordt zwaartekracht-scheiding benut, waarbij de tailings in zware en lichte mineralen gesplitst worden. Hierbij wordt natuurlijk ook een tussenprodukt gevormd, dat voorsnog weinig economische waarde heeft. De lichte mineralen bestaan voor het grootste gedeelte uit het zeer algemeen in de aardkorst voorkomende veldspaat anorthiet dat, omdat het al fijn vermalen is, toepassing kan vinden in een aantal produkten. Hiervoor moet het echter nog verder gezuiverd worden, hetgeen met behulp van een magnetische scheidingsmethode kan geschieden. Economische en marktcriteria vormen de uiteindelijke beperking voor de hoeveelheid anorthiet die geproduceerd kan worden. Het overgrote deel zal daarom onbewerkt naar de tailings-dump moeten verdwijnen. Dit is overigens het vanuit milieu-oogpunt bezien meest onschadelijke deel van de tailings.

De zware mineralen, die in het algemeen hoogwaardiger zijn, gaan door een magneetscheider waar het ijzerhoudende mineraal magnetiet afgescheiden wordt. Hieruit wordt, te zamen met ander ijzererts, ijzer gewonnen. De resterende materiaalstroom gaat naar een flotatiecircuit waar ko-

per- en nikkelsulfiden verzameld worden, die gedurende het hoofdproces in de tailings achtergebleven waren. Zij worden opnieuw in het hoofdproces aan het Cu/Ni-contraat toegevoegd. Dit heeft naast economische, ook milieutechnische voordelen, daar de gewonnen sulfiden vanuit de tailings-dump geen zware-metaalionen meer vrijgeven.

De massastroom die nu nog overblijft wordt - na thermisch drogen - behandeld met elektrische scheidingsapparatuur waardoor ilmeniet ( $\text{FeTiO}_3$ ) en olivijn ( $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ ) gewonnen worden. Zij worden respectievelijk gebruikt in de pigmentindustrie en als hoogovenslag.

In afbeelding 1 zijn al deze processen schematisch weergegeven en is ook de hoeveelheid energie (steeds teruggerekend naar 1 ton Cu) vermeld, die voor de desbetreffende processen nodig is. Het is onmiddellijk te zien dat de bulk van de energie in de zwaartekracht-scheiding (de pompen!) en het thermisch drogen gaat zitten. In het eerstgenoemde geval is dit vanwege de grote hoeveelheid materiaal, in het tweede geval gaat het om het thermisch verwijderen van flinke hoeveelheden water.

#### Berekeningsmethoden

Als er bij een productieproces sprake is van meer produkten is het hieraan toekennen van een (bruto-)energie-inhoud, niet eenduidig. Men moet name-

lijk het energiegebruik van het totale samenstel van processen volgens een bepaalde verdeelsleutel aan de verschillende produkten toekennen. Dit kan op een aantal manieren gedaan worden, die elk hun voor- en nadelen hebben. Voor de hand liggende mogelijkheden zijn:

- naar gewichtsaandeel;
- naar traditionele waarden voor het energiegebruik;
- naar marktprijs;
- naar technische criteria, waarbij het energiegebruik van de processen toegerekend wordt aan de produkten waar de desbetreffende processen in het bijzonder betrekking op hebben. Het technisch criterium is op zichzelf niet eenduidig. Het kan echter toegepast worden bij uitbreiding of wijziging van bestaande installaties.

Een vijfde methode houdt in dat de kosten in het algemeen

- inclusief die voor energie - zodanig over de produkten verdeeld worden dat de daaruit voortvloeiende prijs optimaal is met betrekking tot het bedrijfsdoel (bijvoorbeeld winstoptimalisatie). [Deze methode is van zoveel factoren afhankelijk dat ze buiten het bestek van dit artikel valt.]

Een verdeelsleutel naar gewichtsaandeel, waarvoor de gegevens in afbeelding 1 voorhanden zijn, blijkt tot onbruikbare resultaten te leiden, daar de grootste massastromen door goedkope bulkgoederen vertegenwoordigd worden.

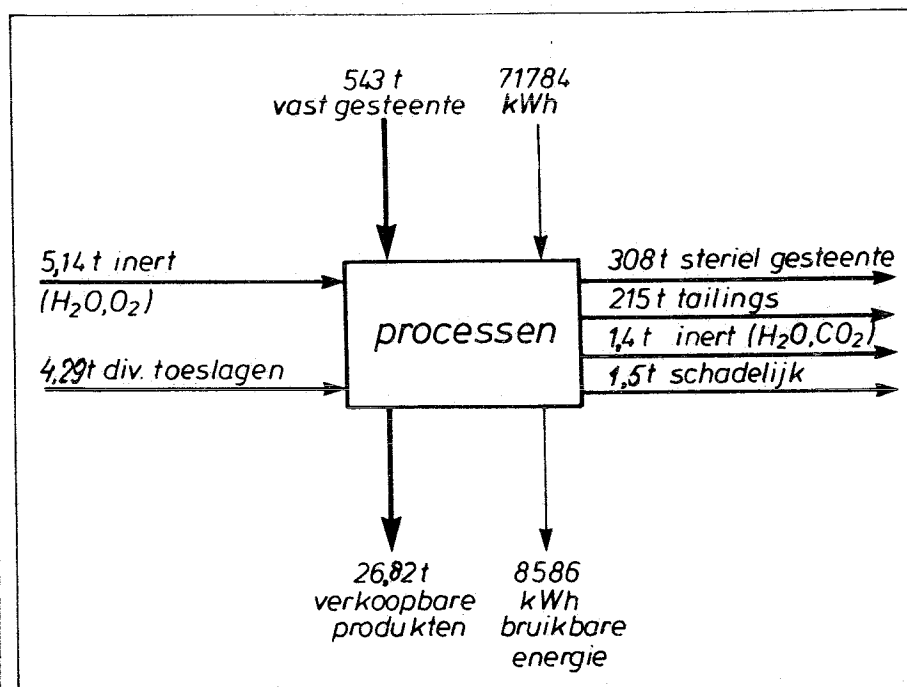
Tabel 1 geeft de bruto energie-inhoud voor de belangrijkste produkten van hoofd- en nevenprocessen weer, berekend naar traditionele energie-inhoud, respectievelijk marktwaarde.

De traditionele energie-inhoud werd door middel van literatuurstudie en berekeningen bepaald als een gemiddelde van conventionele primaire processen. Bij magnetiet is daarvoor de energie-inhoud van die hoeveelheid ijzererts genomen waaruit dezelfde hoeveelheid ijzer gewonnen wordt. Bij olivijn bijvoorbeeld wordt de energie-inhoud van primair gewonnen olivijn genomen dat door malen en reinigen op een vergelijkbare kwaliteit gebracht is en daarmee voor dezelfde doeleinden geschikt is. Voor de marktwaarde werd de heersende marktprijs genomen.

De gegevens van afbeelding 1 kunnen in afbeelding 2 samengevat worden. Daarin is de volledige massabalans weergegeven, waarbij nog slechts onderscheid gemaakt is in grondstoffen, hulpstoffen, produkten en reststoffen. Bovendien is de benodigde hoeveelheid energie aangegeven.

Ten slotte zijn in tabel 2 de totalen be-

Afb. 2 De hoofd- en nevenprocessen te zamen genomen.



Tabel 1 Toekenning van bruto-energie-inhoud aan verschillende producten naar rato van traditionele energie-inhoud resp. marktwaarde, per ton.

Stof	Energie-inh. traditioneel (kWh/ton)	Marktwaarde (\$/ton)	Uit Duluth gabbro, naar energie-inh. (kWh/ton)	Idem, naar marktwaarde (kWh/ton)
Koper	36 180	1 710	33 305	29 976
Nikkel	75 600	4 950	69 558	86 774
Granulaat	28	10	26	175
Zwavelzuur	300	85	276	1 489
Anorthiet	153	7	141	125
Magnetiet	244	29	224	506
Ilmeniet	2 000	28	1 840	497
Olivijn	488	22	449	386

Tabel 2 De massa, de opbrengst en de energie-inhoud zoals deze zouden zijn als alle hoofd- en bijproducten langs conventionele weg gewonnen zouden worden, gerelateerd aan 1 ton uit Duluth gabbro gewonnen koper. Let wel dat nog 0,1 ton extra door uitloging verkregen kan worden.

Stof	Massa (t)	Opbrengst (\$)	Energie-inhoud traditioneel (kWh)
Koper	1,10	1881,-	39 798
Nikkel	0,18	891,-	13 608
Granulaat	6,72	67,20	188
Zwavelzuur	5,37	456,-	1 611
Anorthiet	1,00	7,15	153
Magnetiet	0,27	7,80	66
Ilmeniet	4,87	138,-	9 740
Olivijn	7,13	157,-	3 479
Sulfiden	0,20		
Anodeslib	0,01+		
	26,78	3605,15+	68 643+

rekend voor de massastromen en de marktwaarde van alle producten die langs conventionele weg (smelten) bij de bereiding van 1 ton Cu gerealiseerd kunnen worden. Merk op dat nog 0,1 ton extra gewonnen kan worden door uitloging van laagwaardige ertsen. Om een schatting te maken van de di-

recte energiekosten als percentage van de totale opbrengst, wordt hier aangenomen dat 1 kWh<sub>th</sub> ongeveer twee dollarcent kost. Dit betekent dat de in het proces benodigde energie 38 % van de totale opbrengsten voor haar rekening neemt als de verkoopbare producten langs de gebruikelijke weg verkregen

zouden worden. Voor Duluth gabbro is dat - met terugwinning van energie - slechts 35 %.

### Conclusies

Uit het voorafgaande blijkt dat in het geval van Duluth gabbro het - uit het oogpunt van direct energiegebruik - interessant is om de winning van bijproducten uit de tailings te beschouwen. Doordat de energie-intensieve ontsluiting bij de tailings al geschied is, kost het scheiden van de bijproducten daaruit relatief weinig energie. Co-productie is noodzakelijk en het gebruik van reststoffen is wenselijk om de winning van Cu en Ni uit Duluth gabbro hoe dan ook energetisch aantrekkelijk te maken, zelfs indien men slechts uitgaat van de omstandigheden in de Verenigde Staten van Amerika, waar toch al relatief arme ertsen gewonnen worden [5].

Indien men echter in aanmerking neemt dat gebruik van reststoffen bijdraagt tot het sparen van het milieu en van de desbetreffende grondstofvoorraden, zal blijken dat, naarmate men een langduriger tijdvak in oogenachouwe neemt, een scenario met gebruik van reststoffen gunstiger resultaten oplevert met betrekking tot het milieu, de energie en de kosten.

Een energie-analyse is bij dit alles essentieel, aangezien de verbranding van fossiele energiedragers ook voor grote reststromen verantwoordelijk is. ■

### Literatuur

- [1] Lambert, A.J.D., Marijnissen, J.C.M., Het verband tussen afvalarme methoden en energiegebruik bij de winning van minerale grondstoffen: EUT/BDK rapport, TU Eindhoven, 1988.
- [2] Marijnissen, J., in: De Ingenieur, no 3, 1985.
- [3] Industrial Energy Use Data Handbook, Oak Ridge, 1980.
- [4] Chapman, P.F., Roberts, F., Metal Resources and Energy, 1983.
- [5] Gordon, R.B., e.a., Toward a New Iron Age?, Harvard, 1987.

## Afvalarme methoden en energiegebruik bij de winning van mineralen

Voor het winnen, vrijmaken en zuiveren van minerale grondstoffen zijn vaak grote hoeveelheden energie nodig. Doordat men zijn toevlucht tot steeds armere ertsen moet nemen, zal het specifiek energiegebruik per eenheid zuivere grondstof een toenemende tendens vertonen, een effect dat getemperd wordt door de technologische vooruitgang. Nuttig gebruik van reststoffen draagt de mogelijkheid van energiebesparing in zich. De verwerking van reststoffen kost echter ook energie. Dit maakt het interessant de energie die vereist is om een eenheid product uit reststoffen te maken, te vergelijken met de energie die nodig is om hetzelfde produkt als hoofdprodukt te verkrijgen.

Aan de hand van deze uitgangspunten kan een mathematisch model ontwikkeld worden voor het nuttig gebruik van reststoffen. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden met behulp van een praktijkgeval, waarvan voldoende gegevens voorhanden zijn om er een energie-analyse op uit te voeren, teneinde te onderzoeken of in de huidige situatie de winning van bijproducten ook energetisch voordelen biedt.

Daarbij wordt gebruik gemaakt van termen zoals *primaire productieproces* (dat wil zeggen een productieproces waarbij grondstoffen uit natuurlijke hulpbronnen bereid worden) en *hoofdproces*

(het primair productieproces van de materialen waarvoor de desbetreffende winning oorspronkelijk opgezet is). De hoofdproducten vertegenwoordigen (wat hoeveelheid en/of prijs betreft) de hoogste marktwaarde; zij doorlopen het grootste gedeelte van het hoofdproces. Van *co-productie* wordt gesproken als er meer hoofdproducten zijn.

Bij het hoofdproces komen tal van reststoffen vrij: schadelijke stoffen, zwak-schadelijke of inerte bulkstoffen en reststoffen waaruit nog waardevolle materialen gewonnen kunnen worden. Het verwerken van de schadelijke reststoffen tot nuttige producten wordt *waste-recovery* genoemd. Voorop staat hierbij het opheffen van de schadelijkheid van het desbetreffende afval, respectievelijk het vermijden van hoge opslagkosten. Het verwerken van de overige reststoffen wordt *by-product recovery* genoemd. De bedoelde producten zijn de bijproducten, de daarvoor benodigde processen heten bijprocessen.

Indien men uit de reststoffen ook bulkproducten wint, begeeft men zich op het pad van afvalarme winningmethoden in de richting van *total-recovery*.

Toenemende schaarste, technologische ontwikkeling en scherpere milieu-eisen zijn de drijvende krachten die het gebruik van reststoffen gaandeweg aantrekkelijker kunnen maken.