

λ_2 = henfaldskonstanten for isotop 2, d.v.s. den brøkdél, der henfalder pr. tidsenhed. $\lambda_2 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, hvor $T_{1/2}$ er halveringstiden for isotop 2.

Ved aktiveringens afslutning er

$$N_1 = N_2 \lambda_2 / \sigma_1 \Phi (1 - e^{-\lambda_2 t_A}) \\ = A_2(t_A) / \sigma_1 \Phi (1 - e^{-\lambda_2 t_A}),$$

hvor

t_A = bestrålingstiden

$A_2(t_A)$ = aktiviteten, dvs. antallet af henfald pr. tidsenhed, umiddelbart efter afslutning af bestråling i tiden t_A .

Til vilkårlig t_0 tid efter bestrålingens ophør er aktiviteten

$$A = A_2(t_A) e^{-\lambda_2 t_0}$$

Udtrykket for N_1 bliver derfor

$$N_1 = A e^{-\lambda_2 t_0} / \Phi \sigma_1 (1 - e^{-\lambda_2 t_A}).$$

Henfaldet vil føre til udsendelse af fotoner med ganske bestemt energi ofte med mere end een energi.

Antallet af fotoner af en bestemt energi A_E er relateret til det totale antal henfald A på kendt måde:

$$A_E = f_E \cdot A.$$

Her er

f_E = antallet af fotoner, der udsendes med energien E pr. henfald af isotop 2. Denne størrelse (eller 100 f_E) slås op i tabeller.

A_E = antallet af henfald med energien E for isotop 2.

Det er ikke A_E , der måles på γ -spektrometeret, men en reduceret størrelse

$$a_E = \varepsilon(E, d) \cdot A_E$$

hvor

a_E = det registrerede antal fotoner med energien E : count pr second = cps.

$\varepsilon(E, d)$ = effektiviteten, som er et mål for hvor stor en brøkdél af det udsendte antal fotoner, der registreres. Reduktionen i antallet er både bestemt af geometriske forhold, dvs. afstanden til detektoren, d ,

og detektorens »indre effektivitet«. ε bestemmes experimentelt for en given opstilling. Det er angivet ved at skrive $\varepsilon(E, d)$, at ε varierer med afstanden d for at understrege muligheden for at måle i forskellige positioner.

Vi får nu

$$A = \frac{A_E}{f_E} = \frac{a_E}{f_E \cdot \varepsilon(E, d)}$$

hvilket udtryk kan indsættes i udtrykket for N_1 .

Ved analysen er man normalt ikke interesseret i at skaffe oplysninger om N_1 , antallet af isotop 1, men om C_1 , koncentrationen af element 1 målt som vægtbrøk. (Element 1 skal forstås som det grundstof, der blandt andet består af isotop 1).

Sammenhængen er

$$C_1 = \frac{N_1 M_1}{g_1 N_A m}$$

hvor

M_1 = Isotop 1's isotopmasse

g_1 = Isotop 1's andel af element 1.

N_A = Avogadros tal $6.023 \cdot 10^{23}$

m = massen af det aktiverede stof

Ved indsættelse af N_1 i udtrykket for C_1 fås et færdigt udtryk, der kan bruges til beregning af C_1 uden brug af standard:

$$C_1 = \frac{M_1}{g_1 N_A m} \frac{a_E}{f_E \varepsilon(E, d)} \frac{e^{-\lambda_2 t_0}}{\Phi \sigma_1 (1 - e^{-\lambda_2 t_A})}$$

Denne formel kan imidlertid ikke benyttes direkte i praksis, idet en del af de involverede konstanter (Φ , ε og σ_1) ikke kendes med rimelig nøjagtighed.

Denne vanskelighed slipper man i vor procedure udenom ved extra målinger på standarder af 3 slags:

(1) Radioaktive isotoper (»kilder«). Disse er industrielt fremstillede produkter af kendt aktivitet. De måles i alle positioner på spektrometeret, hvorved $\varepsilon(E, d)$ kan bestemmes een gang for alle.

(2) Globale standarder. For hvert af de grundstoffer analyseproceduren skal kunne bestemme foretages een aktivering af en kendt mængde stof een gang for alle. Herved opnås den ekstra information, der er nødvendig for, at de globale parametre, dvs. de parametre,

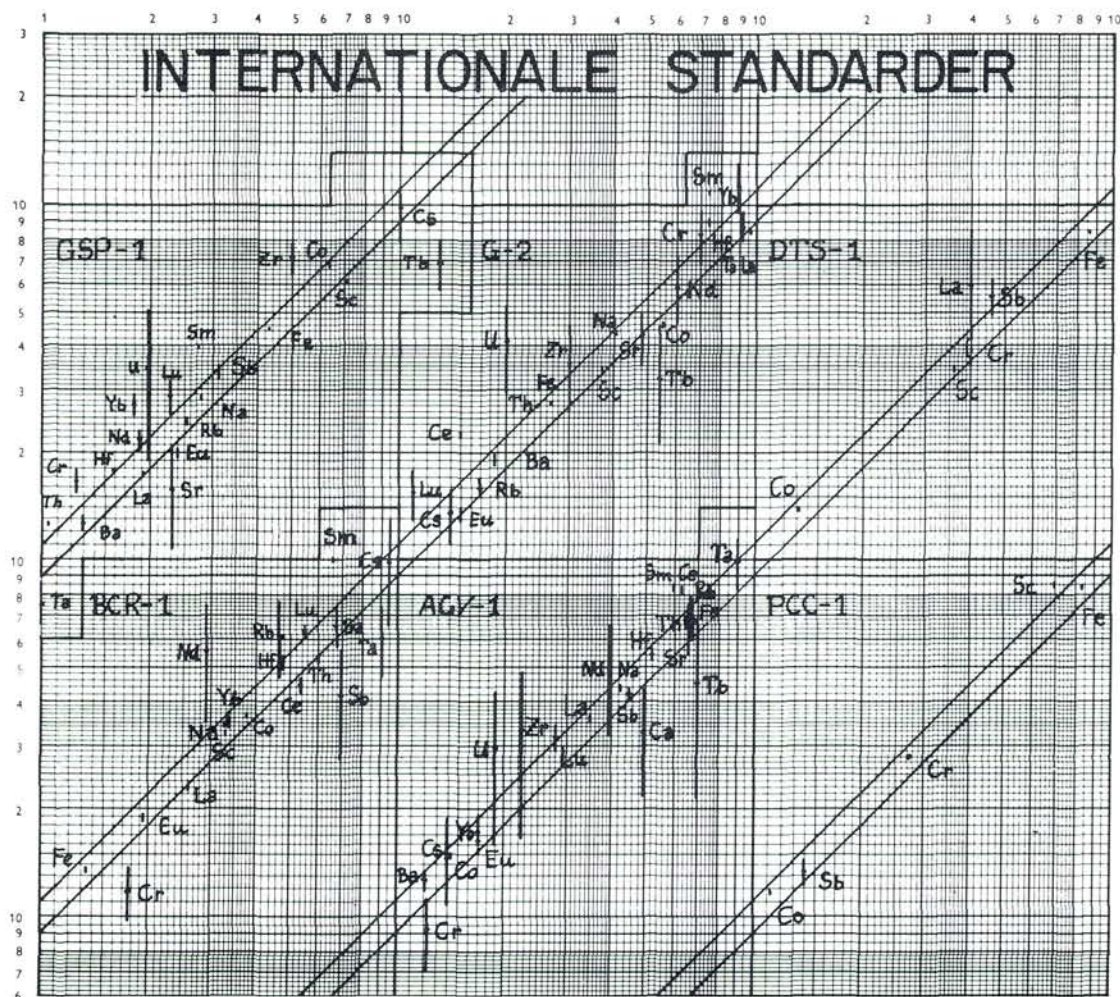


Fig. 1. Analyseverdier for 6 internationale bjergartsstandarder afsat imod de anbefalede middelværdier. Den dobbeltlogaritmiske skala tillader, at alle værdier plottes indenfor samme dekade (hvis der er plads), samtidig med at al infor-

mation om analysenøjagtigheden fastholdes. De skrå dobbeltlinier markerer en afvigelse på $\pm 10\%$ fra middelværdierne. Usikkerhedsangivelsen på de enkelte analyseverdier er en standardafvigelse.

der ikke varierer fra analyse til analyse, kan bestemmes.

(3) Lokale standarder. Hver aktivering (bestråling) omfattende 6 ampuller omfatter een standard, bestående af en kendt mængde stof. Herved opnås den nødvendige extra information til bestemmelse af Φ , den eneste lokale parameter. Vor procedure benytter rutinemæssigt Fe_2O_3 som standard, idet tælletallet for Fe-linien ved 1292 keV lægges til grund. Bemærk: Den lokale standard er den eneste af standarderne, brugeren har nogen manuel relation til.

Praktik

Vejledning om emballering. Prøverne som skal bestråles, anbringes i små dertil beregnede plastikampuller. Strimlen, der fastholder låget, klippes af. Silikater og Fe_2O_3 -standard afvejes i mængder på ca. 0.2 g; der afvejes med 4 decimalers nøjagtighed. Ampullen mærkes med spritfarve, der ikke kan gnides af. For hver 5 prøver benyttes een standard, idet reaktorens geometri tillader, at op til 6 prøver bestråles med samme flux Φ .

Administration. Enhver aktivering kræver tilladelse fra Sundhedsstyrelsen. Ekspeditions-

RECKU. Proceduren udgøres hovedsagelig af et antal batchjobs, der afsendes fra en skærm-terminal. For hver enkelt strimmel udføres de følgende trin:

- 1) Strimlen indlæses via paper tape reader.
- 2) Proceduren STARTTAPE lokaliserer alle toppe (finder kanalnummeret) og deres areal (antal counts) udregnes. Resultatet fremkommer som en tabel med opgivelse af disse og en række andre størrelser.

- 3) Der kalibreres, idet sammenhængen mellem kanal-nummer og energi etableres: $Y \text{ (keV)} = A + B \cdot X \text{ (nr.)}$. Dette sker ved inspektion, idet to let identificerbare toppe, f. eks. de to Fe-toppe 192,23 keV og 1291,58 keV, benyttes. Kendskab til A og B er tilstrækkeligt til i princippet at identificere alle toppene.

- 4) Data fra bestrålingsattesten, dagbogen og kalibreringskoefficienterne samles på dataelementet RUNDATA og udgør sammen med tabellen fra punkt 2 inputdata, der fører direkte til den færdige analyse.

- 5) Da hver prøve måles to gange fås to udskrifter med henholdsvis kort og lang køretid. Proceduren SEPSLU udsøger de bedste værdier og opstiller dem i en tabel, der samtidig giver oplysninger om detektionsgrænsen for grundstoffer, der ikke er registreret, foruden forskellige petrologisk interessante forhold (tabel 1).

Proceduren beskrives nærmere i en manual i laboratoriet.

Resultater

Fig. 1 sammenligner de opnåede analyseværdier for 6 internationale standarder med de anbefalede middelværdier fra litteraturen. Afvigelse er almindeligvis små og åbenbart betinget af analyseusikkerheden, som er angivet ved en lodret streg, der er en standardafvigelse lang til hver side for analyseværdien. Der ser ud til at være systematiske afvigelser for Sm, Ce og sandsynligvis enkelte andre. Disse og andre mangler vil være genstand for opmærksomhed ved procedurens fortsatte udvikling.

Tak

Hermed en tak til Rajmund Gwozdz, der har været min læremester i neutronaktiveringsanalyse, og hvis programmer hele proceduren er baseret på.