



[B] (11) **KUULUTUSJULKAISU** 73527
UTLÄGNINGSSKRIFT

C (45) Patentti myönnetty
Patent maldolat 09 10 1987

(51) Kv.lk./Int.Cl.⁴ G 01 N 23/222

SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patentihakemus - Patentansökning	802432
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	04.08.80
(23) Alkupäivä - Giltighetsdag	04.08.80
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	07.02.81
(44) Nähtäväksipanon ja kuuljulkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	30.06.87
(86) Kv. hakemus - Int. ansökan	
(32) (33) (31) Pyydetty etuoikeus - Begärd prioritet	06.08.79
Australia-Australien(AU) PD 9897/79	
Toteennäytetty-Styrkt	

- (71) Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization,
Limestone Avenue, Campbell, Australian Capital Territory, Australia-
Australien(AU)
- (72) Mihai Borsaru, Blackburn South, Victoria,
Peter Lewis Eisler, Balwyn, Victoria, Australia-Australien(AU)
- (74) Antti Impola
- (54) Menetelmä ja laite materiaalien pii- ja alumiinikomponenttien kemiallis-
ten konsentraatioiden samanaikaiseksi mittaamiseksi - Förfarande och
anordning för samtidig mätning av de kemiska koncentrationerna av kisel-
och aluminiumkomponenterna i material

Menetelmä ja laite materiaalien pii- ja alumiini-
komponenttien kemiallisten konsentraatioiden saman-
aikaiseksi mittaamiseksi

Förfarande och anordning för samtidig mätning av de
kemiska koncentrationerna av kisel- och aluminium-
komponenterna i material

Keksinnön kohteena on menetelmä ja laite materiaalien
pii- ja alumiinikomponenttien kemiallisten konsentraatioiden
samanaikaiseksi mittaamiseksi. Keksinnölle on olemassa useita
mahdollisia käyttösovellutuksia, joista mainittakoon pii-
5 ja alumiinipitoisuuksien mittaaminen hiilessä ja rautamal-
meissa. Keksintö kehitettiin kuitenkin ensi kädessä bauk-
siittimalmeissa olevien alumiini- ja piikomponenttien kemi-
allisten konsentraatioiden valvomiseksi osana mineraaliteol-
lisuuden valvontaprosessissa. Keksinnön tämä sovellutus se-
10 litetään yksityiskohtaisesti tässä hakemuksessa.

Bauksiittiteollisuudessa on olemassa kaksi erikois-
aluetta, joissa keksintöä voidaan käyttää. Toinen on malmin
laadunvalvonta bauksiittia kuormattaessa vientikuljetuksia var-
ten, jolloin alumiinin laatu ja piiepäpuhtauskonsentraa-
15 tioiden valvonta ovat oleellisia sen seikan varmistamiseksi,
että malmi täyttää vientisopimuksen laatumääritelmät.
Toisena käyttönä mainittakoon malmin laadunvalvonta bauk-
siittia lajiteltaessa varastokasoihin, jotka sisältävät
piitä ja alumiinia määriteltävinä eri konsentraatioina.
20 Riippumatta näiden varastojen muodostumistavasta voivat nämä
varastokasat sisältää (a) malmia, joka on sekoitettu mal-
min käsittelylaitoksia varten, tai (b) malmia, jota voidaan
käyttää seuraavissa sekoitusvaiheissa.

Molemmissa näissä tapauksissa nykyinen käytäntö malmin laadun valvomiseksi perustuu malminäytteiden jaksottaiseen ottoon malmimassasta, joka tavallisesti siirtyy kuljetushihnan varassa näytettä otettaessa. Näytteet ovat suhteellisen suuria (useita kilogrammoja) ja ne jakeetaan pienempiin osanäytteisiin välittömästi tai sekoitetaan muihin näytteisiin, jotka on otettu määrätystä lukumäärästä automaattisia näytteenottojaksoja edustavan massanäytteen muodostamiseksi, joka sitten jaetaan osanäytteisiin. Osanäytteiden otto ja murskaus jatkuvat, kunnes pieni näyte-

5 kappale (noin 1g) on lopuksi käytettävissä kemiallista analyysiä varten kemiallisten märkäkokeiden tai röntgensäde-

10 fluoresenssianalyysin avulla. Nämä näytteiden käsittelymenetelmät ovat erikoisen runsaasti aikaa kuluttavia siinä tapauksessa, että näytteeltä halutaan massan hyvä edustavuus.

15 Analyysi kuluttaa myös paljon aikaa.

On todettu, että eräissä tilanteissa (esim. laivoja kuormattaessa) ja malmin laadun vaihdellessa nämä analyyt-

20 tiset menetelmät eivät ole riittävän nopeita toimenpiteiden mahdollistamiseksi tarkoituksella korjata alumiinin ja piin kemiallisia konsentraatioita (esim. muilla sekoitustoimen-

25 piteillä). Jos olisi mahdollista soveltaa aikaisemman tekniikan mukaisia menetelmiä liikkuvalla hihnalla siirtyvän bauksiitin analysoimiseksi kuljetusvirrassa, olisi komponenttien nopeampi analyysi ja näin ollen nopeammat korjaa-

30 vat sekoitustoimenpiteet periaatteessa mahdollisia. Märkäkemiallisia menetelmiä ei kuitenkaan valitettavasti voida soveltaa jatkuvaan materiaalivirtaan, ja röntgensäde-

35 fluoresenssiin perustuvia menetelmiä ei voida soveltaa jatkuvana virtana kulkevien malmikimpaleiden mittaamiseksi. Röntgensädefluoresenssiin perustuva menetelmä ei myöskään sovellu käsittelemättömien massanäytteiden analyysiin röntgensäteilyn pienen läpitukenutumisen takia (pienempi kuin 1 mm) ja sen takia, että malmi on heterogeenistä kosteuspitoisuuteen ja hiukkaskokoon nähden.

Tämän keksinnön perustana olevassa neutroniaktiivointi-analyysissä ei ole niitä edellä mainittuja ongelmia, jotka suurien massanäytteiden analyysiin sovellettuina liittyvät märkämialliseen analyysiin tai röntgensäde-fluoresenssiin perustuvaan menetelmään. Aktiivointianalyysimentelmät voidaan itse asiassa suraan soveltaa suuriin massanäytteisiin, ja ne vaativat sangen vähän näytteen esivalmistelua murskaamalla ja kuivaamalla. Niillä vältetään myös useimmat sellaiset heterogeenisyysongelmat, jotka liittyvät röntgensäde-fluoresenssiin perustuvan analyysin soveltamiseen massanäytteisiin, koska käytetyt neutronit ja gammasäteet tunkeutuvat paljon syvemmälle kuin röntgensäteet. Tämän ansiosta liikuvilla hihnoilla siirtyvän bauksiittimalmin laadun valvonta (samoin kuin muiden materiaalien alumiini- ja piipitoisuus-
15 sien valvonta) soveltuu keksinnön mukaiselle neutroniaktiivointimenetelmälle.

Neutroniaktiivointianalyysi sinänsä ei ole uusi. Esimerkiksi neutroniaktiivoinnin näkökohtia on käsitelty jonkin verran arvomineraalimalmien haivaitsemisessa (erikoisesti hopeamalmi) US-patentin no. 3,463,922, F.E. Senftle et al, selityksessä. Senftle et al käsittelee malmien säteilytyksen suhteellisia etuja ylikuormituksessa nopeilla ja hitailla neutroneilla ja päättelee, että monissa tapauksissa arvokas malmi voidaan havaita hitaan neutronisäteilytyksen avulla pinnasta, havainnoimalla tunnusomainen gammasäteily aktiivoiduista mineraaleista kivien, maan ja juonikivimateriaalin pintakerroksen alta.
25

Toinen esimerkki neutroniaktiivoinnista löytyy UK-patentin no. 1,409,480 selityksestä (United States Atomic Energy Commissio). Tässä selityksessä kuvataan kaksoislenkin käsittävä neutroniaktiivointianalyysi nestemäisten väliaineiden kuten massojen, liuosten ja nesteytettyjen jauheiden mittaamiseksi. Tähän menetelmään kuuluu (a) ensimmäinen lenkki, jossa nestemäistä väliainetta säteilytetään lämpö-
35 neutroneilla ja jäljelle jäävä gammasäteily mitataan, ja

(b) toinen lenkki, jossa nestettä säteilytetään nopeilla neutroneilla ja jäljelle jäävä gammasäteily jälleen mitataan.

Vielä yksi esimerkki aktivointianalyysin käytöstä löytyy länsisaksalaisesta omasta julkaisustamme no. 2,329,105, (ja vastaavasta australialaisesta patenttiselityksestä no. 475,297). Tässä esimerkissä hitailla neutroneilla tapahtuvan säteilytyksen tarkoituksena on päätellä veden ja erityisen komponentin konsentraatio materiaalissa - erityisesti vesi- ja rautapitoisuus hihnakuljetusmassa irtorautamalmissa.

Neutroniaktivointimenetelmiä on aikaisemmin sovellettu piin ja alumiinin analyysiin pienissä näytteissä (pienemmät kuin 150 g). Niinpä näitä menetelmiä on selitetty julkaisussa, jonka on laatinut F.Dugain ja J. Tatar, Ann. Inst. Geol. Publici, Unkari, Volume 54, s. 375 (1970), ja julkaisuissa, jotka ovat laatineet L. Alaerts, J.P.Op de Beeck ja J. Hoste, Anal. Chim. Acta, Volume 70, s. 235 (1974) ja Anal. Chim. Acta, Volume 78, s. 329 (1975).

Nämä menetelmät riippuvat komponentteina olevien kemiallisten alkuaineiden kahteen keskinäiseen vaikutukseen. Toinen keskinäinen vaikutus on se, joka esiintyy nopeiden neutronien ja isotoopin ^{28}Si välillä, jolloin muodostuu isotooppi ^{28}Al reaktion $^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$ seurauksena. Reaktiotuote ^{28}Al hajoaa siten, että sen puoliintumiskä on 2,3 minuuttia, jolloin kehittyy gammasäteilyä energiatasolla 1,78 MeV. Näytteen alumiinikomponenttia säteilytettäessä hitailla neutroneilla kehittyy samaa radioaktiivista isotooppia ^{28}Al , johon liittyy 1,78 MeV gammasäteily. Koska nopeiden neutronien ja pienissä näytteissä olevan materiaalin keskinäinen vaikutus on mitättömän pieni, voidaan piin ja alumiinin kemialliset konsentraatiot kalibroida suoraan 1,78 MeV gammasäteilyn laskentojen perusteella,

jotka laskennot havaitaan määrätyn aikavälin kuluessa sen jälkeen, kun ensin on säteilytetty nopeilla neutroneilla ja sitten hitailla neutroneilla. Bauksiitin massanäytteiden ja varsinkin huomattavan paljon vettä sisältävien näyt-

teiden tutkimuksessa on otettava erikoisesti huomioon niiden nopeiden neutronien hidastuminen, joita käytetään piin analyysia varten ja siihen liittyvään isotoopin

²⁸Al muodostumiseen, joka aiheutuu hitaiden neutronien sieppaamisesta alumiiniin saman säteilyttämisen aikana. Eräs menetelmä tämän ilmiön ottamiseksi huomioon on selitetty seuraavassa keksinnön toiminnan selityksen yhteydessä.

Nykyään käytetyissä neutroniaktivointiin perustuvissa analyysimenetelmissä, jotka vaativat kahta säteilyttämistä (ensin nopeilla ja sitten hitailla neutroneilla), aiheuttavat nämä molemmat neutronilähteet ja niiden vastaavat suojayhdistelmät huomattavan suuria pääomakustannuksia. Analyysin kohdistuessa hihnalla siirtyvän malmin liikkuvaan virtaan tarvitaan myös kaksi spektrometristä gammasäteilyilmaisinta esim. 127 x 127 mm NaI(Tl)7. Jos analyysi on suoritettava kasoissa tai säiliöissä olevilla massanäytteillä, tullaan kylläkin toimeen vain yhdellä gammasäteilyilmaisimella, mutta piin ja alumiinin analyysimenetelmät on kahdennettava, mikä kaksinkertaistaa analyysiin kuuluvan ajan pituuden ja tarvittavan työn. Jotta mittauksia voitaisiin menestyksellisesti käyttää hyödyksi analyysissa, on lisäksi oleellista, että nopea ja hidas neutronivuo pysyvät vakioina ja toistettavina mittauksesta toiseen.

Tämä keksintö antaa tulokseksi huomattavia ajan ja laitteistokustannusten säästöjä nykyiseen teknologiaan verrattuna esittämällä analyysimenetelmän, joka perustuu näytteen yhteen ainoaan säteilytykseen, minkä jälkeen seuraa yksi ainoa mittausvaihe.

Keksinnön perustana olevat ydinreaktiot ovat seuraavat:

$^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ (jota käytetään alumiinikomponentin määrittämiseksi, ja $^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$ (piin määrittämiseksi).

Näissä reaktioissa vaikuttavien neutronien energiat ovat suuremmat kuin 4,5 MeV. Radioaktiivinen ydin ^{27}Mg hajoaa siten, että sen puoliintumisikä on 9,46 minuuttia, ja ydin lähettää hajotessaan kaksi gammasädettä, joiden energiat ovat vastaavasti 0,844 MeV ja 1,015 MeV. Toisen radioaktiivisen ytimen ^{28}Al emissio ja puoliintumisaika on selitetty edellä. Kuten myös edellä on selitetty, on kolmas ydinreaktio tärkeä kaikissa massanäytteissä, jotka alumiini- ja piikomponenttien lisäksi sisältävät huomattavan paljon vettä. Tämä reaktio, $^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$, johon liittyy alumiinissa olevien hitaiden neutronien sieppaus, johtaa 1,78 MeV gammasäteilyn emissioon, joka summautuu siihen 1,78 MeV gammasäteilyyn, joka aiheutuu nopeiden neutronien reaktiosta näytteen piikomponentin kanssa. (On huomattava, että käytettäessä jopa lähteitä, jotka lähettävät ainoastaan nopeita neutroneja näytteen säteilyttämiseksi, tulee huomattava lukumäärä nopeita neutroneja hidastumaan lämpöenergiaksi näytteessä kohdatessaan vetyytimiä, jotka liittyvät näytteen vesipitoisuuteen.)

Edellä selitettyjen ydinreaktioiden soveltaminen alumiinin ja piin analyysiin nopeiden neutronien aktivoinnin avulla on selitetty tieteellisessä kirjallisuudessa. Niinpä voidaan viitata julkaisuun, jonka ovat esittäneet R.H. Gijbels ja J. Hertogen, Pure Appl. Chem., Volume 49, s. 1555, (1977), ja julkaisuun J. Kuusi, Nucl. Appl. Technol., Volume 8, s. 465 (1970). Nämä sovellutukset koskevat kuitenkin pieniä näytteitä tai sellaisia suuria näytteitä, jotka sisältävät niukasti vetyä ja täten aiheuttavat nopeiden neutronien mitättömän pientä hidastumista näytteissä.

Keksintö voittaa ongelman, joka johtuu alumiinin ja piin välisestä interferenssistä 1,78 MeV gammasäteilyn takia seuraavasti: nopeilla neutroneilla suoritettua säteily-

lytyksen jälkeen mitataan 1,78 MeV gammasäteet näytteestä samanaikaisesti kuin ne säteet, jotka isotooppi ^{27}Mg lähettää energiatasoilla 0,844 MeV ja valinnaisesti myös 1,015 MeV, ennalta määrätyn aikavälin kuluessa. (Jos näytesäiliö on valmistettu sellaisesta materiaalista, kuten kuparista, joka kehittää gammasäteilyä, joka vaikuttaa näytteen lähettämään 1,015 MeV gammasäteilyyn, jätetään tämä 1,015 MeV gammasäteily pois analyysistä). Koska isotoopista ^{27}Mg johtuvien laskentojen lukumäärä aiheutuu ai-
 5 noastaan alumiinista, voidaan alumiinin kemiallinen konsentraatio saada suoraan näistä tallennetuista laskennoista, kun tunnetaan näytteen massa. Näytteen alumiinipitoisuuden ollessa tunnettu, ja edellyttäen, että myös tunnetaan hitaiden neutronien vuo materiaalissa, voidaan 1,78 MeV
 10 gammasäteilyn se komponentti, joka aiheutuu hitaiden neutronien reaktiosta alumiinink kanssa, vähentää koko lasketusta 1,78 MeV gammasäteilystä siten, että saadaan se energiatasolla 1,78 MeV tapahtuva gammasäteily, joka aiheutuu siitä, että nopeat neutronit ovat aktivoineet näytteessä
 15 olevan piin.

Koska lämpöneutronivuo massanäytteessä on herkkä vedenpitoisuudelle, on oleellista mitata lämpöneutronien lukumäärä tietyn aikavälin kuluessa neutronisäteilytyksen aikana. Tätä varten sopiva neutroni-ilmaisim sijoitetaan
 25 lähelle näytettä. Ilmaisimen tallentama neutronien lukumäärä on verrannollinen lämpöneutronivuohon näytteessä.

Keksinnön mukaan saadaan täten menetelmä materiaalinäytteen alumiini- ja piipitoisuuden analysoimiseksi samanaikaisesti, jolloin näytteitä säteilytetään nopeilla neutro-
 30 neilla, ja tämän menetelmän tunnusomaiset vaiheet ovat:

- a) mitataan aikaansaatu lämpöneutronivuo näytteessä,
- b) mitataan gammasäteily säteilytetystä näytteestä energiatasoilla 1,78 MeV ja 0,844 MeV,
- c) käytetään energiatasolla 0,844 MeV mitattua gammasäteilyä näytteen alumiinipitoisuuden määrittämiseksi, ja
 35 d) käytetään energiatasolla 1,78 MeV mitattua gammasäteilyä, josta on vähennetty sen energiatasolla 1,78 MeV tapahtuva gammasäteily, joka aiheutuu lämpöneutronien reakti-

osta näytteessä olevan lasketun alumiinin kanssa näytteen piipitoisuuden määrittämiseksi.

Keksinnön mukaan saadaan myös laite menetelmän toteuttamiseksi, jossa on:

5 a) nopeiden elektronien lähde, joka on sovitettu materiaalinäytteen säteilyttämiseksi,

b) lämpöneutronien ilmaisim, joka on sijoitettu siten, että se mittaa lämpöneutronivuon säteilytetyssä näytteessä,

10 c) gammasäteilyn ilmaisim, joka on erotettu ja suojattu neutronilähteestä ja joka on sovitettu mittaamaan säteilytetyistä näytteestä saadun gammaspektrin,

d) välineet signaalien valitsemiseksi, jotka edustavat mitattua gammasäteilyä energiatasoilla 1,78 MeV ja 0,844 MeV, ja

15 e) välineet mainittujen signaalien ja mainitun lämpöneutronien ilmaisimen ulostulosignaalin käsittelemiseksi mainitun näytteen alumiini- ja piipitoisuuden määrittämiseksi.

Keksinnön muut tunnusmerkit selitetään seuraavassa oheisten piirustusten kuvaaman erään suoritusmuodon perusteella.

20 Kuvio 1 esittää kaaviollisesti koejärjestelmää näytteen alumiini- ja piipitoisuuden mitaamiseksi.

Kuvio 2 esittää osittain kaaviollisena ja osittain lohkoesityksenä komponentteja, joita käytetään kuvion 1 näyttämässä järjestelmässä neutroniaktiivointianalyysin suorittamiseksi.

25 Kuvio 3 ja 4 esittävät käyrinä alumiini- ja piimäärityksen tuloksia näytteissä, joihin on kohdistettu sekä tavanomainen analyysi että on sovellettu keksinnön mukaista neutronien aktiivointimenetelmään perustuvaa analyysia.

30 Ennenkuin laite ja menetelmä selitetään yksityiskohdaisesti, on eduksi tutustua matematiikkaan, joka liittyy tähän keksintöön.

Näytteessä, joka sisältää sekä alumiinia että piitä, on alumiinin AL määrä suhteessa siihen laskentojen lukumäärään G, joka mitataan isotoopin ^{27}Mg lähettämien gamma-
35 säteiden perusteella energiatasolla 0,844 MeV ja / tai

1,015 MeV, ja on edelleen suhteessa näytteen painoon W seuraavan yhtälön kuvaamalla tavalla:

$$A_1 = a_0 + a_1 G + a_2 W. \quad (1)$$

Vakiokertoimet a_0 , a_1 ja a_2 määritetään lineaarisen regressioanalyysin perusteella.

Laskentojen lukumäärä G määritetään yhtälöstä

$$G = G_T - kJ, \quad (2)$$

jossa G_T on niiden gammasäteiden kokonaislukumäärä, joka on mitattu energiaikkunassa, joka käsittää 0,844 MeV ja/tai 1,015 MeV piikit, J on niiden laskentojen kokonaislukumäärä, joka on mitattu 1,78 MeV gammasäteistä, ja k on vakio. Lausetta kJ käytetään sen jatkuvan spektrin vähentämiseksi, joka on kotoisin sekä Comptonin 1,78 MeV hajakammasäteilystä että neutronilähteen lähettämästä taustasäteilystä.

Täten

$$A_1 = a_0 + a_1 G_T + a_2 W + a_3 J, \quad (3)$$

jossa $a_3 = -a_1 k$.

Samalla tavoin näytteessä olevan piin Si kemiallinen konsentraatio on suhteessa siihen laskentojen lukumäärään aikayksikössä H , joka aiheutuu 1,78 MeV gammasäteilystä, joka on kotoisin reaktiosta $^{28}Si(n,p)^{28}Al$ ja on suhteessa näytteen painoon W seuraavan yhtälön mukaan:

$$Si = b_0 + b_1 H + b_2 W, \quad (4)$$

jossa b_0 , b_1 ja b_2 ovat regressioanalyysin perusteella saatavia vakiokertoimia.

Bauksiitin massanäytteestä kyseenollen sisältää käytännössä kuitenkin laskentojen lukumäärä aikayksikössä, joka aiheutuu isotoopeista ^{28}Al ja suureesta J , kaksi toisistaan erottamatonta komponenttia H ja I , joista I on komponentti, joka on kotoisin isotoopin ^{27}Al lämpöneutroniaktiivoinnista. Laskentojen lukumäärä I on verrannollinen säteilyttämisen aikana mitattujen lämpöneutronien lukumäärän N_t ja näytteen alumiinikonsentraation tuloon. Koska edellä mainittujen laskentojen lukumäärä G_T on suhteessa alumiinin konsentraatioon, ja koska N_t on verrannolli-

nen lämpöneutronivuohon näytteessä, saadaan näytteen todellinen piin konsentraatio yhtälöstä

$$S_i = b_0 + b_3 J + b_4 G_T N_t + b_2 W, \quad (5)$$

jossa b_3 , b_4 ovat regressiokertoimia.

5 Yhtälöitä (3) ja (5) käytetään materiaaleja analysoitaessa keksinnön mukaan.

Kuvion 1 näyttämässä keksinnön kokeilemiseen tarkoitettussa koejärjestelmässä on neutronilähde 10 ja lämpöneutronien ilmaisimien 11, jotka sijaitsevat lähellä rautatiekiskoja 12, joiden varassa pieni materiaalinäyte 13 voidaan sirtää. Lähellä kiskoja 12 mutta etäällä neutronilähteestä 10 ja ilmaisimesta 11 on gammasäteilyn ilmaisimien 14, joka on sopivasti suojattu lyijysuojauksella 15 ja muuri-suojuksella 16.

15 Kuvion 1 näyttämässä koejärjestelmässä oli neutronilähteenä 20 Ci Am-Be, ja laskettu ulostulo oli $4,4 \times 10^7$ n/s. Materiaalinäytteet 13 oli sijoitettu suorakaiteen muotoiseen messinkilaahtikkoon 17 (25 x 25 x 4 cm syvä), ja näytettä säteilytettiin nopeilla neutroneilla alhaaltapäin. Neutronilähde 10 oli suljettu kadiumia olevaan lieriömäiseen kuoreen 21 (kuvio 2), joka esti lähteestä säteileviä lämpöneutroneja saavuttamasta näytettä 13. Näytteessä 13 kehittynyt lämpöneutronivuo mitattiin lämpöneutronien ilmaisimella 11, joka oli erittäin tehokas neutronien ilmaisimien (täytetty 390 kPa paineeseen seoksella, jossa oli ^3He ja Kr), joka myös oli sijoitettu näytesäiliön alapuolelle lähelle neutronilähdettä.

25 Sen jälkeen, kun lähteellä 10 oli säteilytetty 6 minuuttia, siirrettiin näyte 13 15 sekunnin kuluessa sijoituspaikkaan, joka oli välittömästi gammailmaisimen 14 yläpuolella. Ilmaisimena oli 127 x 127 mm NaI(Tl)-tyyppinen skintillaatioilmaisimien. Neutronilähteen 10 ja gammailmaisimen 14 välinen etäisyys oli noin 7 metriä. Tämä lähteen ja ilmaisimen välinen etäisyys lisäsi huomattavan etäisyyssuojakomponentin siihen jo ennestään huomattavan suureen suojaan säteilylähteen vaikutukselta, joka oli muo-

dostettu betonitiilirakenteille 16 ja 26, jotka oli rakennettu sekä NaI(Tl)-ilmaisimen 14 että neutronilähdeytelmien ympärille. Kolmen senttimetrin paksuinen lyijysuojus 15, joka oli rakennettu skintillaatioilmaisimen 14 rungon ympärille siten, että ainoastaan yläpuolinen laakapinta oli paljaana mittauksia varten, vähensi edelleen taustasäteilyä. Spektri stabiloitiin käyttämällä ^{137}Cs -lähteen 0,662 MeV gammasäteilyä (ei näytetty piirustuksissa), mikä antoi vertailupiikin "Canberra Industries Model 1520" -tyyppiselle analogiselle spektrin stabiloimislaitteelle.

Skintillaatioilmaisimen 14 ilmaisemien gammasäteiden energiaspektrit analysoitiin menetelmän alkuperäisten kehitysvaiheiden aikana käyttämällä "Tracor Northern" -tyyppistä 4096-kanavaista pulssikorkeuden analysointilaitetta (mallia TN-1700). Myöhemmässä vaiheessa, jolloin energiapulssien korkeuden kalibroinnit oli saatu täysin toteutetuiksi, käytettiin kuvion 2 näyttämällä tavalla Ortec-tyyppistä yhden kanavan analysointilaitetta, digitaalilaskimia ja aikalaitetta, koska nämä laitteet paremmin soveltuivat tehdas- tai kaivospaikan käyttöolosuhteisiin. Vahvistimina käytettiin "Tennelec"-tyyppistä lineaarista vahvistinta skintillaatioilmaisimelle 14 ja "Ortec"-tyyppistä spektroskooppivahvistinta neutroni-ilmaisimelle 11. Digitaalilaskimen ulostulo saatiin liuskakirjoittimesta. Kuvion 2 näyttämä osittain kaaviollinen ja osittain lohkonmuotoinen kaavakuva havainnollistaa paremmin ymmärrettävällä tavalla kuvion 1 näyttämää laitetta. Varsinkin suuritehoisten neutronien lähde 10 ja lämpöneutronien ilmaisimien 11 on näytetty yksityiskohtaisemmin siten, että nähdään neutronilähde 10 suljettuna kadiumsuojukseen 21 ja lähde 10 ja ilmaisimien 11 sijoitettuna muurisuojukseen 26.

Yksi ainoa suurjännitteinen tehonsyöttö 22 palveli sekä lämpöneutronien ilmaisinta 11 että gammasäteilyn ilmaisinta 14.

Lämpöneutronien ilmaisimen 11 lähtösignaali vahvistetaan ensin vahvistuksen valvontayksikössä 23. Jos vahvistettu signaali ylittää vaaditun kynnysarvon (jonka kynnyslaite 24 määrittää), syötetään se digitaalilaskimen 25 tuloon.

5 Tämän laskimen 25 lähtö syötetään prosessoriin 32, jona tavallisesti on mikroprosessori tai pieni tietokone, joka on ohjelmoitu tarvittavan analyysin suorittamiseksi kolmesta tulosignaalistaan.

10 Prosessorin 32 molemmat muut tulosignaalit ovat signaaleja, jotka osoittavat suureiden G ja J arvoja (kts. edellä olevaa selitystä). Nämä signaalit johdetaan gammailmaisimen 14 vastaanottamista gammasäteistä, jotka aiheutuvat näytteen säteilytyksen aikana muodostuneiden isotooppien ²⁸Al ja ²⁷Mg hajoamisesta. Nämä tulot saadaan sen jälkeen, kun ilmaisimen 14 lähtöä on käsitelty vahvistimessa 26, gamma-

15 säteiden diskriminaattorissa ja digitaalilaskimissa 28 ja 28A. Gammasäteiden diskriminaattori on piirustuksessa näytetty kahtena yksikanavaisena gammasäteiden analysointilaitteena 27 ja 27A. Käytännössä nämä laitteet 27 ja 27A

20 voivat muodostaa yhden ainoan yksikön, joka on monikanavainen analysointilaitte, joka antaa lähdöt kanavista, joissa on energiaikkunat, joiden leveys tyypillisesti on noin 0,35 MeV ja jotka on keskiöity energiatasoille 0,844 MeV, 1,015 MeV ja 1,78 MeV.

25 Esiasetettava aikalaite 31 ohjaa digitaalilaskimen 28 ja 28A toimintaa. Aikalaite 31 on synkronisoitu digitaalilaskimen 25 toimintaa ohjaavaan esiasetettavaan aikalaitteeseen 3 nähden, mutta toimii tämän jälkeen.

30 Prosessorin 32 lähtö voidaan tallentaa, esim. varastoida magneettinauhaan, magneettikiekkoon, magneetikoriin, reikänauhaan, reikäkorttiin tai mihinkä muuhun sopivaan välineeseen. Vaihtoehtoisesti tai tämän lisäksi voidaan prosessorin 32 lähtö esittää digitaalinäyttönä, paperille kirjoitettuna, tai korttiin merkittynä. Tä-

35 män alan ammattimiehet ymmärtävät, että prosessorin 32 lähdön kulloinkin käytettävä esitysmuoto voidaan valita

siten, että se soveltuu laitteiston omistajan tai käyttäjän tarpeisiin. Näin ollen on kuviossa 2 näytetty ainoastaan yksi ainoa määrittelymätön näyttöyksikkö 33.

Eräässä keksinnön mukaisessa kokeellisessa testaus-
 5 esimerkissä bauksiittinäytteet kuivattiin siten, että niiden sisältämä vapaa kosteus oli pienempi kuin 5 paino-%, ja murskattiin \leq 6 mm hiukkaskokoon. On kuitenkin huomattava, että näin laaja esikäsitteily ei ole oleellista. Bauksiittinäytteessä oli alumiinia rajoissa 26 ... 32 paino-%, kun taas piin konsentraatiot olivat rajoissa 0,9 ... 4,5 paino-%. Säteilytykseen käytetyn näytteen massa oli noin 4 kg.

Bauksiittia säteilytettäessä nopeilla neutroneilla oli odotetusti gammasäteiden spektrissä dominoivina 1,78 MeV
 15 gammasäteilypiikki, joka aiheutui isotoopista ^{28}Al , ja jatkuvana spektrina gammasäteet, joihin oli kohdistunut Compton-hajonta sekä ilmaisimessa että massanäytteessä. Tämä jatkuva spektri sijaitsee isotoopin ^{27}Mg aiheuttamien spektri-
 20 piikkien alla energiatasoilla 1,015 ja 0,844 MeV. Tässä esimerkissä Compton-hajontaprosesseja dominoivat gammasäteet, joiden alkuenergiat olivat 1,78 MeV, 1,015 MeV ja 0,844 MeV, jotka olivat kotoisin näytteestä, sekä 0,662 MeV, joka oli kotoisin isotoopin ^{137}Cs stabiloivasta vertailulähteestä. Bauksiitin tapauksessa oli nytkin odote-
 25 tusti muista komponenteista, kuten luonnollista radioaktiivisista nuklideista kotoisin olevat häiriöt minimaaliset, ja isotoopin ^{56}Mn piikit energiatasoilla 0,846 MeV, 1,811 MeV ja 2,113 MeV olivat hyvin pienet. (Tämä nukliidi, jonka puoliintumisikä on 2,57 h, voi johtua $^{55}\text{Mn}(n, \gamma)^{56}\text{Mn}$ -reaktiosta tai $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ -reaktiosta. Ensimmäinen näistä
 30 reaktioista myötävaikuttaa mitättömän vähän isotoopilla ^{56}Mn , johtuen Australian bauksiittien äärimmäisen pienestä mangaanikonsentraatiosta, huolimatta tätä reaktiota varten käytetystä suhteellisen suuresta poikkileikkauksesta 13,3 barnia. Toinen näistä reaktioista, johon rauta liittyy, antaa enemmän isotooppia ^{56}Mn kuin ensimmäinen reaktio, mutta muodostaa noin 2-prosenttisen vakio-interferenssitason, jonka vaihtelu on vain noin 1% siitä gammasäteilysignaalista, joka on kotoisin isotoopista ^{27}Mg .)

Toinen tässä esimerkissä esiintyvä spektrisen interferenssin lähde aiheutui messinkiä olevan näytesäiliön kuparikomponentin neutronien aktivoitumisesta, mikä antoi pienen piikin energiatasolla 1,05 MeV. Oli näin ollen välttämätöntä jättää pois laskelmista kaikki laskenta-arvot, jotka oli merkitty noin 0,1 MeV leveässä ahtaassa energia-

Niiden spektrin piikkien interferenssin lisäksi, jotka aiheutuvat näytteen pienehköjen komponenttien ja näytesäiliön kehittämistä monoergeettisistä gammasäteistä (^{28}Al ja ^{27}Mg) esiintyi myös huomattavaa interferenssiä gamma-hajausäteilyn jatkuvasta spektristä. Interferenssi 1,78 MeV spektripiikin kanssa näytti olevan merkityksetön suuremmilla energiatasoilla esiintyvän mitättömän pienen gammasäteilyn takia. Isotoopista ^{27}Mg johtuvan 0,844 MeV gammasäteilypiikkiin vaikutti huomattavasti alla olevan jatkuvan spektrin melkoisen suuri interferenssi, joka aiheuti isotoopin ^{28}Al hajoamisen seurauksena esiintyvän 1,78 MeV gammasäteilyn Compton-hajonnasta ja neutronilähteen taustasäteilystä.

AU-patentin 468.970 selityksessä on kuvattu eräs menetelmä, jota olisi voitu käyttää interferenssiongelmien voittamiseksi tapauksessa, jossa käytetään monikanavaisia pulssikorkeuden analysointilaitteita neutronin aktivointianalyysia varten. Tähän menetelmään liittyy alla olevan jatkuvan spektrin määrittäminen, joka perustuu laskentojen lukumäärään energia-kanavassa, joka sijaitsee lähellä kysymykseen tulevaa spektripiikkiä. Keksinnön mukaisessa koejärjestelmässä sovellettiin tehokkaasti erästä vaihtoehtoista menetelmää käyttämällä yksikanavaisia analysoimislaitteita bauksiitin aktivointianalyysissa. Tämä menetelmä perustuu yksinkertaisesti siihen, että käytettiin kahta erikoista energia-ikkunaa. Toinen ikkuna, joka on keskiöity energiatasolle 0,844 MeV, on noin 0,1 MeV leveä. Toinen noin 0,35 MeV leveä ikkuna käsittää 1,78 MeV piikin.

Näiden molempien energia-ikkunoiden käyttäminen yksistään toimii hyvin, koska ensimmäisessä ahtaassa ikkunassa esiintyvään jatkuvaan spektriin kerääntyvät laskennat ovat

hyvänä liikkimääräisarvona verrannolliset niiden laskentojen lukumäärään, jotka ovat kotoisin isotoopin ^{28}Al 1,78 MeV gammasäteilystä. Näissä molemmissa ikkunoissa saadut laskennat on yhtälöissä (3) ja (5) merkitty G_T ja J siten, että voidaan joko määrittää kalibrointikertoimet a_i ja b_j tai määrittää piin ja alumiinin kemialliset konsentraatiot näytteissä siinä tapauksessa, että kalibroinnit ja näin ollen kertoimet jo olivat tunnetut.

Sen jälkeen, kun oli suoritettu joukko kokeita hyvin sekoitetuilla, tehokkaasti homogeenisilla malminäytteillä, sovitettiin aktivointianalyysin tiedot lineaarisen regressioanalyysin avulla niihin kalibrointitietoihin, jotka oli saatu kemiallisista märkäkokeista. Massanäytteistä saatujen pii- ja alumiinimääritysten vastaavat tarkkuudet saatiin näytteen standardipoikkeamina (s) seuraavalla tavalla:

(a) Käytettäessä yhtälöitä (3) ja (5) ja sovellettaessa keksinnön mukaista menetelmää oli

alumiinille $s = 0,43\% \text{ Al}$

piille $s = 0,14\% \text{ Si}$

(b) Kun yhtälöstä (5) jätetään pois isotoopista ^{27}Mg energiatasolla 0,844 MeV esiintyvän gammasäteilyn myötävaikutus, saadaan

Piille $s = 0,19\% \text{ Si}$

(c) Kun yhtälöstä (5) jätetään pois ne osuudet, jotka aiheutuvat sekä isotoopin ^{27}Mg säteilystä energiatasolla 0,844 MeV että näytesäiliön alla mitatuista lämpöneutroneista, saadaan:

piille $s = 0,82\% \text{ Si}$.

Kuten keksintöä soveltamalla saatujen tulosten pienistä standardipoikkeamista selviää, on keksintö sangen edullisesti verrattavissa vaihtoehtoihin (b) ja (c).

Kuvioissa 3 ja 4 on näytetty vertailut, jotka koskevat neutroniaktiivoinnin määrityksiä alumiinille ja piille, jotka on lausuttu alumiinioksidina (Al_2O_3) ja piidioksidina (SiO_2), ja toisaalta tavanomaisen analyysin avulla saadut määritykset.

Ammattimiehelle on selvää, että (a) säiliön 17 ei

tarvitse olla messinkiä eikä sen tarvitse kehittää tutkittavan gammaspektrin merkityksellistä komponenttia, (b) edellä selitetyssä koejärjestelmässä käytetty rautatiekiskojärjestelmä ja massanäyte voidaan korvata kuljetushihnalla, joka siirtää malmia (tai muuta materiaalia) neutronisäteilytysaseman ja myötävirrann suunnassa sijaitsevan gammasäteilymittausaseman välillä siten, että voidaan suorittaa hinnan kuljettaman materiaalin sisältämän piin ja alumiinin analyysi jatkuvasta virrasta, ja (c) edellä selitetyn koejärjestelmän rautatiekiskojärjestelmä ja massanäyte voidaan korvata porausreiän kiinteillä seinämillä ja ympäröivällä kalliolla, ja sekä säteilylähde että ilmaissinta voidaan samanaikaisesti siirtää porausreiässä siten, että voidaan tutkia piin ja alumiinin esiintymistä tässä reiässä. Tällaista järjestelmää varten asennetaan suuritehoinen neutronilähde, lämpöneutronien ilmaisin ja gammasäteilyilmaisin porausreikää varten tehtyyn sondiin, joka sitten voidaan laskea porausreiässä mihinkä tahansa haluttuun asentoon tätä porausreikää ympäröivän kallion analysoimiseksi. Signaalinkäsittelylaitteita ei normaalisti sijoiteta sondiin, vaan ne yhdistetään lähteeseen ja ilmaisimiin pitkillä kaapeleilla.

5

10

15

20

25

30

35

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Menetelmä materiaalinäytteen (13) alumiini- ja piipitoisuuden analysoimiseksi samanaikaisesti, jolloin säteilytetään näytteitä (13) nopeilla neutroneilla, t u n n e t t u siitä, että tämän menetelmän vaiheet ovat:

5 a) mitataan aikaansaatu lämpöneutronivuo näytteessä (13),

b) mitatetaan gammasäteily säteilytetystä näytteestä (13) energiatasoilla 1,78 MeV ja 0,844 MeV,

10 c) käytetään energiatasolla 0,844 MeV mitattua gammasäteilyä näytteen alumiinipitoisuuden määrittämiseksi, ja

d) käytetään energiatasolla 1,78 MeV mitattua gammasäteilyä, josta on vähennetty se energiatasolla 1,78 MeV tapahtuva gammasäteily, joka aiheutuu lämpöneutronien reaktiosta näytteessä olevan lasketun alumiinin kanssa näytteen piipitoisuuden määrittämiseksi.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaiheeseen (b) sisältyy lisävaihe säteilytetyn näytteen (13) gammasäteilyn mittaamiseksi energiatasolla 1,015 MeV, ja vaiheessa (c) joko mitattua gammasäteilyä energiatasolla 1,015 MeV tai mitattua gammasäteilyä energiatasolla 0,844 MeV käytetään näytteen alumiinipitoisuuden määrittämiseksi.

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaiheeseen (c) sisältyy energiatasolla 0,844 MeV tai 1,015 MeV tai 0,844 MeV mitatun gammasäteilyn kompensoiminen Comptonin energiatasolla 1,78 MeV tapahtuvalla gammahajasäteilyllä ja gammataustasäteilyllä.

4. Patenttivaatimuksen 1, 2 tai 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että näytteen alumiinipitoisuus määritetään vaiheessa (c) käyttämällä yhtälöä

$$A_1 = a_0 + a_1 G_T + a_2 W + a_3 J,$$

35 jossa a_0 , a_1 ja a_2 ovat kalibrointikertoimia, jotka määritetään kalibroimalla vastaukset G_T , W ja J tunnettujen näytteiden alumiinipitoisuutta vastaan käyttämällä regressioanalyysia, G_T on energiatasolla 0,844 MeV tai 1,015 MeV tapahtuvan gammasäteilyn yksikköajassa laskettu gammailmaisimen kokonaislukumäärä, J on energiatasolla 1,78 MeV tapahtuvan gammasätei-

lyn yksikköajassa laskettu gammailmaisimen kokonaislukumäärä ja W on näytteen paino.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen menetelmän, t u n -
n e t t u siitä, että piipitoisuus määritetään vaiheessa
5 (d) käyttämällä yhtälöä

$$S_i = b_0 + b_3 J + b_4 G_T N_t + b_2 W,$$

jossa b_0 , b_2 ja b_4 ovat kalibrointikertoimia, jotka on määri-
tetty kalibroimalla vastaukset J $G_T N_t$ ja W tunnettujen näyt-
teiden regressioanalyysin avulla saatuja piipitoisuuksia vas-
taan, ja N_t on todettu lämpöneutronivuo näytteessä, kun tätä
10 säteilytetään nopeilla neutroneilla.

6. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen mene-
telmä, t u n n e t t u siitä, että näytteenä on massa-
näyte, ja vaihe (a) suoritetaan ensimmäisessä sijoituspaikassa,
15 vaiheet (b) ja (c) suoritetaan toisessa sijoituspaikassa, joka
sijaitsee etäällä ensimmäisestä sijoituspaikasta ja mainittu
massa näyte siirretään ensimmäisestä sijoituspaikasta toiseen
sijoituspaikkaan ajassa, joka on lyhyt verrattuna isotooppi
20 ^{28}Al :n puoliintumisikään, kun vaihe (a) on saatu päätökseen.

7. Jonkin patenttivaatimuksen 1...5 mukainen menetel-
mä, t u n n e t t u siitä, että mainittu näyte kuljete-
taan liikkuvalla kuljetushihnalla.

8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, t u n -
n e t t u siitä, että vaihe (a) suoritetaan ensimmäisessä
25 sijoituspaikassa, joka on kuljettimen ylä- tai alapuolella, ja vaiheet
(b) ja (c) suoritetaan toisessa sijoituspaikassa kuljettimen
yläpuolella tai alapuolella, jolloin tämä toinen sijoituspai-
ka sijaitsee myötävirran suunnassa ensimmäisestä sijoituspai-
kasta.

9. Jonkin patenttivaatimuksen 1...5 mukainen menetelmä,
30 t u n n e t t u siitä, että näytteenä on porausreiän seinä-
mässä oleva materiaali.

10. Laite patenttivaatimuksen 1 mukaisen menetelmän
toteuttamiseksi, t u n n e t t u siitä, että tässä lait-
35 teessa on

(a) nopeiden elektronien lähde (10), joka on sovitettu
materiaalinäytteen (13) säteilyttämiseksi,

b) lämpöneutronien ilmaisimien (11), joka on sijoitettu siten, että se mittaa lämpöneutronivuon säteilytetystä näytteestä (13),

5 c) gammasäteilyn ilmaisimien (14), joka on erotettu ja suojattu neutronilähteestä (10) ja joka on sovitettu mittaamaan säteilytetystä näytteestä (13) saadun gammaspektrin,

d) välineet (27, 27A) signaalien valitsemiseksi, jotka edustavat mitattua gammasäteilyä energiatasoilla 1,78 MeV ja 0,844 MeV, ja

10 e) välineet (28, 28A, 25, 32) mainittujen signaalien ja mainitun lämpöneutronien ilmaisimen (11) ulostulosignaalien käsittelemiseksi mainitun näytteen (13) alumiini- ja piipitoisuuden määrittämiseksi.

11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että välineet signaalien valitsemiseksi käsittelevät lisäksi välineet signaalien valitsemiseksi gammasäteilyn energiatasolla 1,015 MeV.

12. Patenttivaatimuksen 10 tai 11 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että siinä on näytesäiliö (17), joka on sovitettu siirrettäväksi ajassa, joka on lyhyt verrattuna isotooppi ^{28}Al :n puoliintumiskään ensimmäisestä sijoituspaikasta, jossa se sijaitsee mainitun nopeiden neutronien lähteen ja lämpöneutroni-ilmaisimen välittömässä läheisyydessä, toiseen sijoituspaikkaan, joka on etäällä tästä ensimmäisestä sijoituspaikasta, ja jossa se sijoitetaan mainitun gammasäteilyilmaisimen välittömään läheisyyteen.

13. Patenttivaatimuksen 11 tai 12 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että mainittu säiliö (17) on asennettu rautatiekiskojen (12) varaan.

14. Patenttivaatimuksen 11, 12 tai 13 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että näytesäiliönä (17) on messinki-laatikko.

15. Patenttivaatimuksen 10 tai 11 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että nopeiden neutronien lähde (10) ja lämpöneutronien ilmaisimien (11) on asennettu ensimmäiseen sijoituspaikkaan mainittua materiaalia kuljettamaan sovitetun kuljetushihnan välittömään läheisyyteen, ja gammasäteilyilmaisimien (14) on asennettu tämän kuljetushihnan välittömässä läheisyydessä olevaan toiseen sijoituspaikkaan, joka sijaitsee

myötävirrann suunnassa ensimmäisestä sijoituspaikasta.

5 16. Patenttivaatimuksen 10 tai 11 mukainen laite, tunnettu siitä, että nopeiden neutronien lähde (10), lämpöneutronien ilmaisim (11) ja gammasäteilyilmaisim (14) on asennettu porausreiän sondiin.

17. Jonkin patenttivaatimuksen 10...16 mukainen laite, tunnettu siitä, että nopeiden neutronien lähde (10) on suljettu kadiumkuoreen (21).

10 18. Jonkin patenttivaatimuksen 10...17 mukainen laite, tunnettu siitä, että siihen sisältyy spektrin stabiloimislaite.

15 19. Jonkin patenttivaatimuksen 10...18 mukainen laite, tunnettu siitä, että mainitut välineet signaalien valitsemiseksi, jotka edustavat havaittua gammasäteilytasoa käsittävät joko joukon yksikanavaisia analysointilaitteita tai monikanavaisen analysointilaitteen.

20 20. Patenttivaatimuksen 19 mukainen laite, tunnettu siitä, että siihen kuuluu näyttölaite (33), joka on sovitettu näyttämään mainitun näytteen (13) alumiini- ja piipitoisuuden määritetyt arvot.

PATENTKRAV

1. Förfarande för att analysera ett materialprov
(13) aluminium- och kiselhalt samtidigt, varvid prover-
na (13) bestrålas med neutroner med stor hastighet,
5 k ä n n e t e c k n a t av att detta förfarande om-
fattar stegen:

a) mätes det åstadkomna värmeneutronflödet i pro-
vet (13),

b) mätes gammastrålningen från det bestrålade provet
10 (13) på energinivåerna 1,78 MeV och 0,844 MeV.

c) användes den på energinivån 0,844 MeV uppmätta gam-
mastrålningen för bestämning av provets aluminiumhalt, och

d) användes den på energinivån 1,78 MeV uppmätta gam-
mastrålningen minskad med den på energinivån 1,78 MeV
15 skeende gammastrålning, som förorsakas av värmeneutroner-
nas reaktion med i provet befintligt, beräknat aluminium,
för bestämning av provets kiselhalt.

2. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k -
n a t av att steget (b) omfattar ett tilläggssteg för mät-
ning av det bestrålade provets (13) gammastrålning på ener-
ginivån 1,015 MeV, och i steget (c) användes antingen en
uppmätt gammastrålning på energinivån 1,015 MeV eller den
uppmätta gammastrålningen på energinivån 0,844 MeV för be-
stämning av provets aluminiumhalt.

25 3. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2, k ä n -
n e t e c k n a t av att steget (c) omfattar kompensering
av på energinivån 0,844 MeV eller 1,015 MeV eller 0,844 MeV
uppmätt gammastrålning med Comptons på energinivån 1,78
MeV skeende gammaspridningsstrålning och gammabakgrunds-
30 strålning.

4. Förfarande enligt patentkrav 1, 2 eller 3, k ä n -
n e t e c k n a t av att provets aluminiumhalt bestämmas
i steget (c) genom användning av ekvationen

$$Al = a_0 + a_1 G_T + a_2 W + a_3 J,$$

35 där a_0 , a_1 och a_2 är kalibreringskoefficienter, som bestäm-
mes genom kalibrering av G_T , W och J mot aluminiumhalten i

kända prover genom användning av regressionsanalys, G_T är den på energinivån 0,844 MeV eller 1,015 MeV skeende gammastrålningens per tidsenhet beräknade totalantal i gammadetektorn, J är den på energinivån 1,78 MeV skeende gammastrålningens per tidsenhet beräknade totalantal i gammadetektorn och W är provets vikt.

5. Förfarande enligt patentkrav 4, k ä n n e t e c k n a t av, att kiselhalten bestämmas i steget (d) genom användning av ekvationen

$$S_i = b_0 + b_3 J + b_4 G_T N_t + b_2 W,$$

där b_0 , b_2 och b_4 är kalibreringskoefficienter, som bestämmas genom kalibrering av J , $G_T N_t$ och W mot de genom regressionsanalys erhållna kiselhalterna i proverna, och N_t är ett konstaterat värmeneutronflöde i provet, då detta bestrålas med snabba neutroner.

6. Förfarande enligt något av föregående patentkrav, k ä n n e t e c k n a t av, att provet utgöres av ett massaprov, och steget (a) utföres i en första position, stegen (b) och (c) utföres i en andra position, som ligger långt borta från den första positionen och nämnda massaprov överföres från den första positionen till den andra positionen under en tid, som är kort jämfört med isotopen ^{28}Al :s halveringstid, då steget (a) bringats till ett slut.

7. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 5, k ä n n e t e c k n a t av, att nämnda prov transporteras med en rörlig transportrem.

8. Förfarande enligt patentkrav 7, k ä n n e t e c k n a t av, att steget (a) utföres i en första position, som ligger ovan- eller nedanför transportören, och stegen (b) och (c) utföres i en andra position ovan- eller nedanför transportören, varvid denna andra position ligger medströms från den första positionen.

9. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 5, k ä n n e t e c k n a t av, att provet utgöres av ett i ett borrhåls vägg befintligt material.

10. Anordning för att förverkliga ett förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d av, att denna

anordning omfattar

(a) en källa (10) för snabba elektroner, som anpassats för bestrålning av ett materialprov (13),

5 (b) en detektor (11) för värmeneutroner, som placerats sålunda, att den mäter värmeneutronflödet i det bestrålade provet (13),

(c) en detektor för gammastrålning, som ligger avskilt och skyddad från neutronkällan (10) och som anordnats att mäta det från det bestrålade provet (13) erhållna
10 gammaspektret,

(d) medel (27, 27A) för att välja signaler, som representerar den uppmätta gammastrålningen på energinivåerna 1,78 MeV och 0,844 MeV, och

15 (e) medel (28, 28A, 25, 32) för behandling av nämnda signaler och utgångssignalerna från nämnda detektor (11) för värmeneutroner för att bestämma aluminium- och kiselhalten i nämnda prov (13).

11. Anordning enligt patentkrav 10, k ä n n e t e c k n a d av, att medlen för att välja signaler på gammastrålningens energinivå 1,015 MeV.
20

12. Anordning enligt patentkrav 10 eller 11, k ä n n e t e c k n a d av, att den omfattar en provbehållare (17), som anpassats för förflyttning under en tid, som är kort jämfört med isotopen ²⁸Al:s halveringstid från den
25 första positionen, där den ligger i omedelbar närhet av nämnda källa för snabba neutroner och värmeneutrongetektorn, till den andra positionen, som ligger långt borta från denna första position, och där den placeras i omedelbar närhet av nämnda gammastrålningsdetektor.

30 13. Anordning enligt patentkrav 11 eller 12, k ä n n e t e c k n a d av, att nämnda behållare (17) monterats på järnvägsskenor (12).

14. Anordning enligt patentkraven 11, 12 eller 13, k ä n n e t e c k n a d av, att provbehållaren (17) är en
35 mässingslåda.

15. Anordning enligt patentkraven 10 eller 11, k ä n n e t e c k n a d av, att källan (10) för snabba neutroner och

värmeneutrondetektorn (11) monterats i den första positionen till omedelbar närhet av den för transport av nämnda material anordnade transportremmen, och gammastrålningsdetektorn (14) har monterats i den i omedelbar närhet av denna transportrem belägna andra positionen, som ligger medströms från den första positionen.

5
16. Anordning enligt patentkrav 10 eller 11, k ä n n e t e c k n a d av, att källan (10) för snabba neutroner, värmeneutrondetektorn (11) och gammastrålningsdetektorn (14)
10 monterats i en sond i ett borrhål.

17. Anordning enligt något av patentkraven 10 - 16, k ä n n e t e c k n a d av, att källan (10) för snabba neutroner inneslutits i ett kadmiumhölje (21).

15
18. Anordning enligt något av patentkraven 10 - 17, k ä n n e t e c k n a d av, att den omfattar en stabiliseringsanordning för ett spektrum.

19. Anordning enligt något av patentkraven 10 - 18, k ä n n e t e c k n a d av, att nämnda medel för att välja signaler representerande en observerad gammastrålningsnivå
20 omfattar antingen flera enkanaliga analyseringsanordningar eller en flerkanalig analyseringsanordning.

25
20. Anordning enligt patentkrav 19, k ä n n e t e c k n a d av, att därtill hör en visningsanordning (33), som anordnats att visa de bestämda värdena för aluminium- och kiselhalten i nämnda prov (13).

Viitejulkaisuja-Anförda publikationer

—

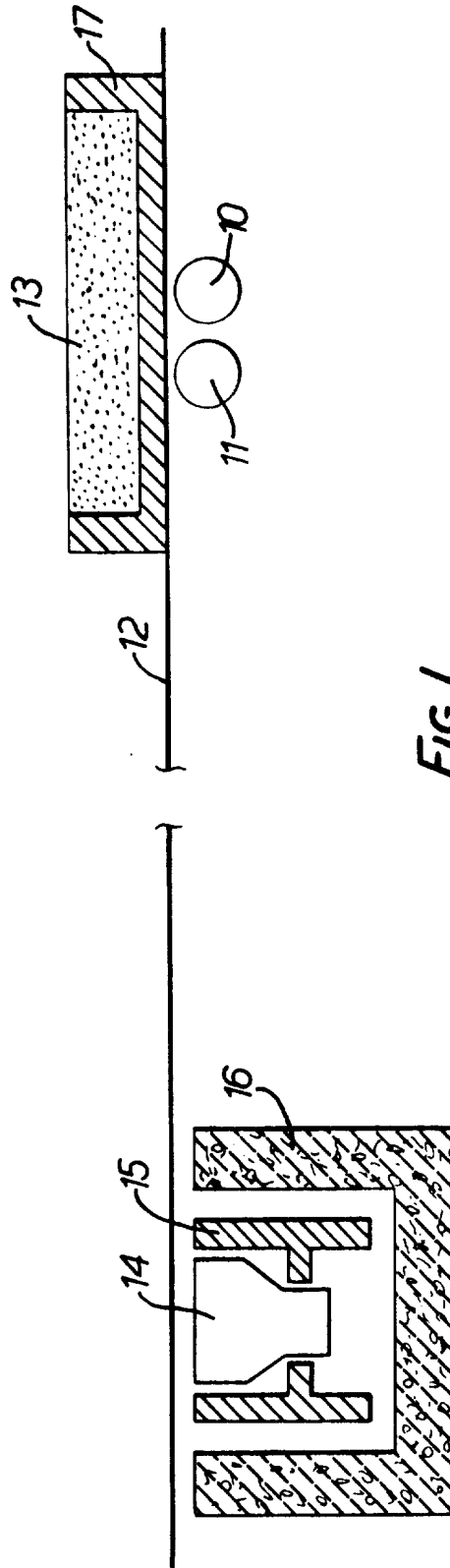


FIG. 1.

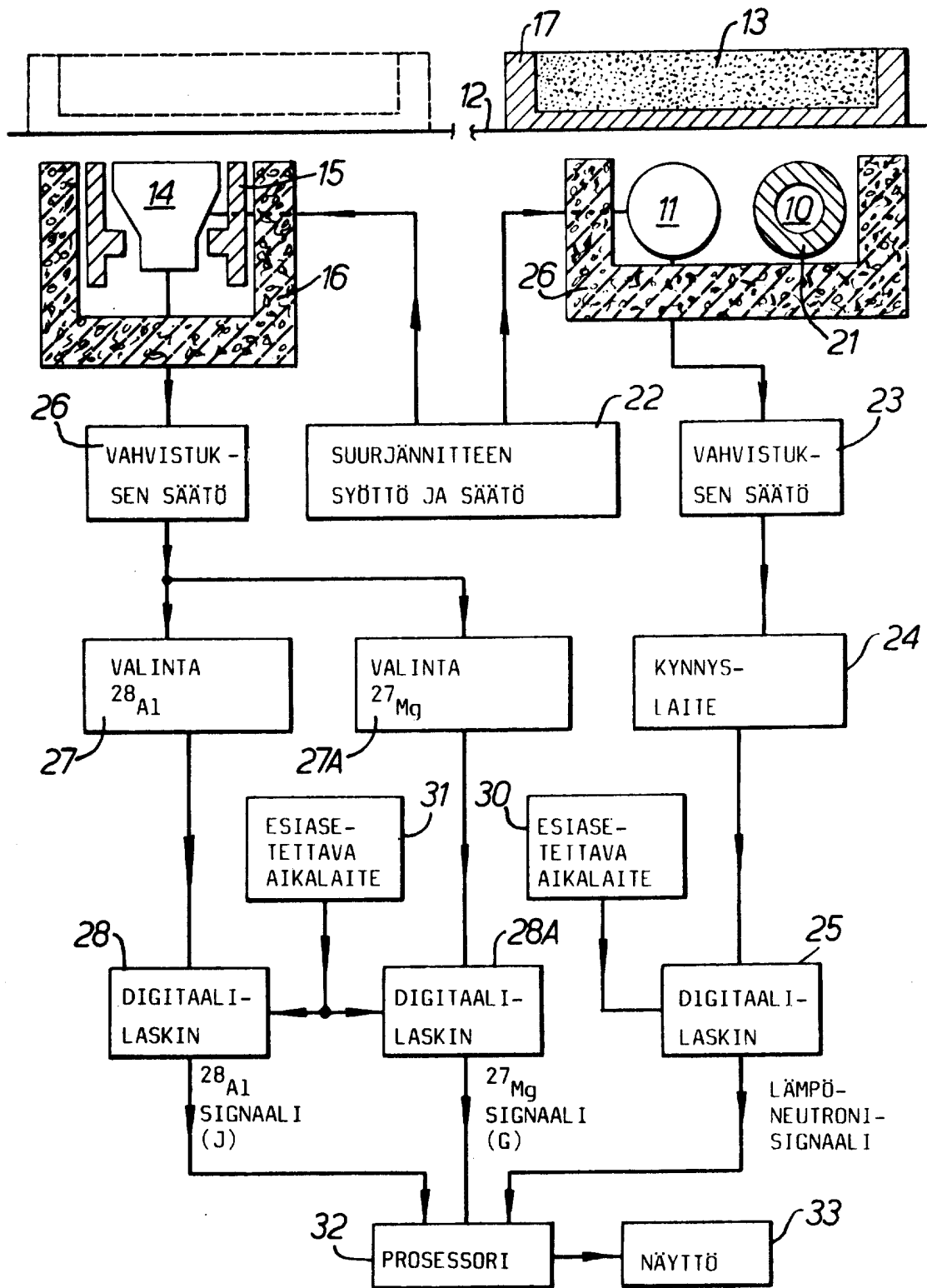


FIG. 2.

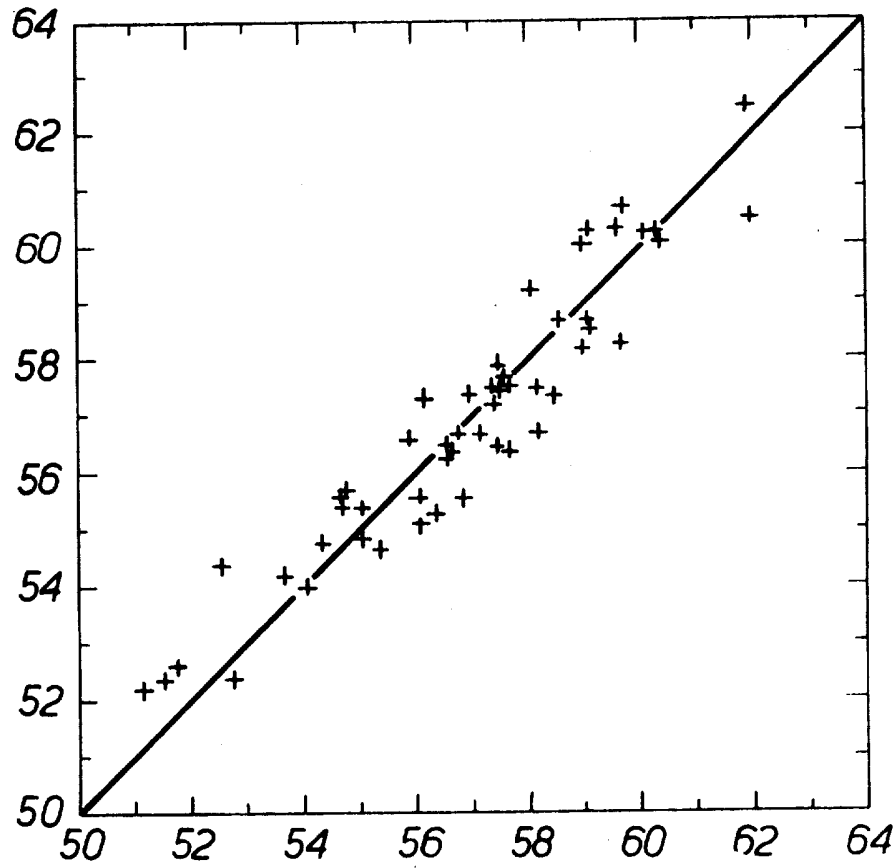


FIG. 3.

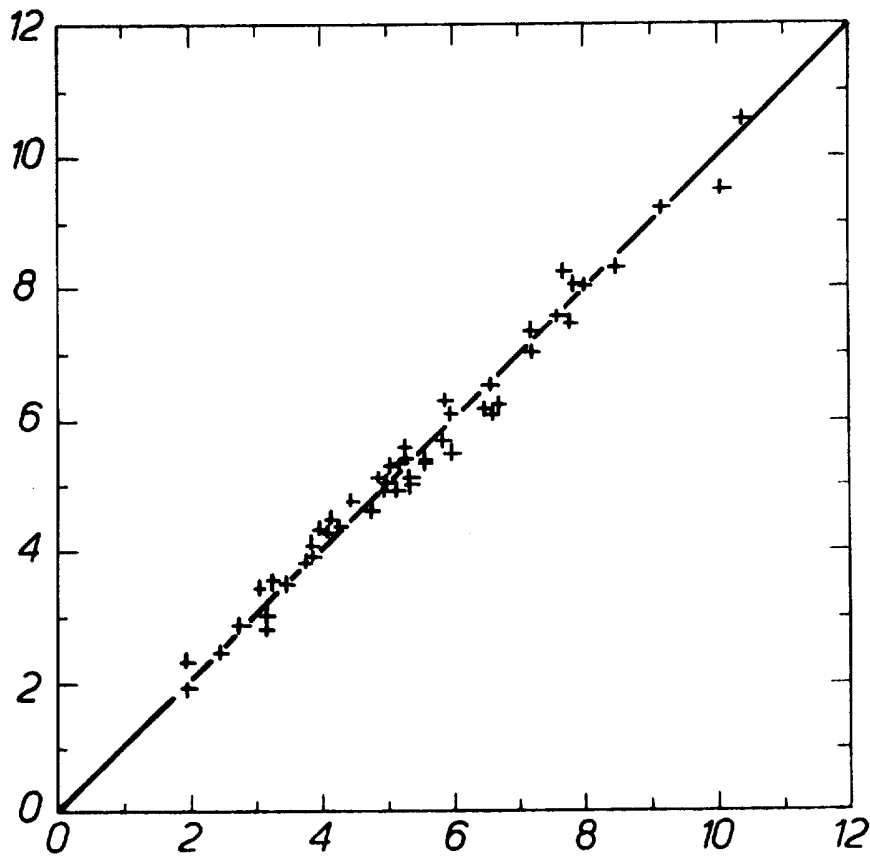


FIG. 4.