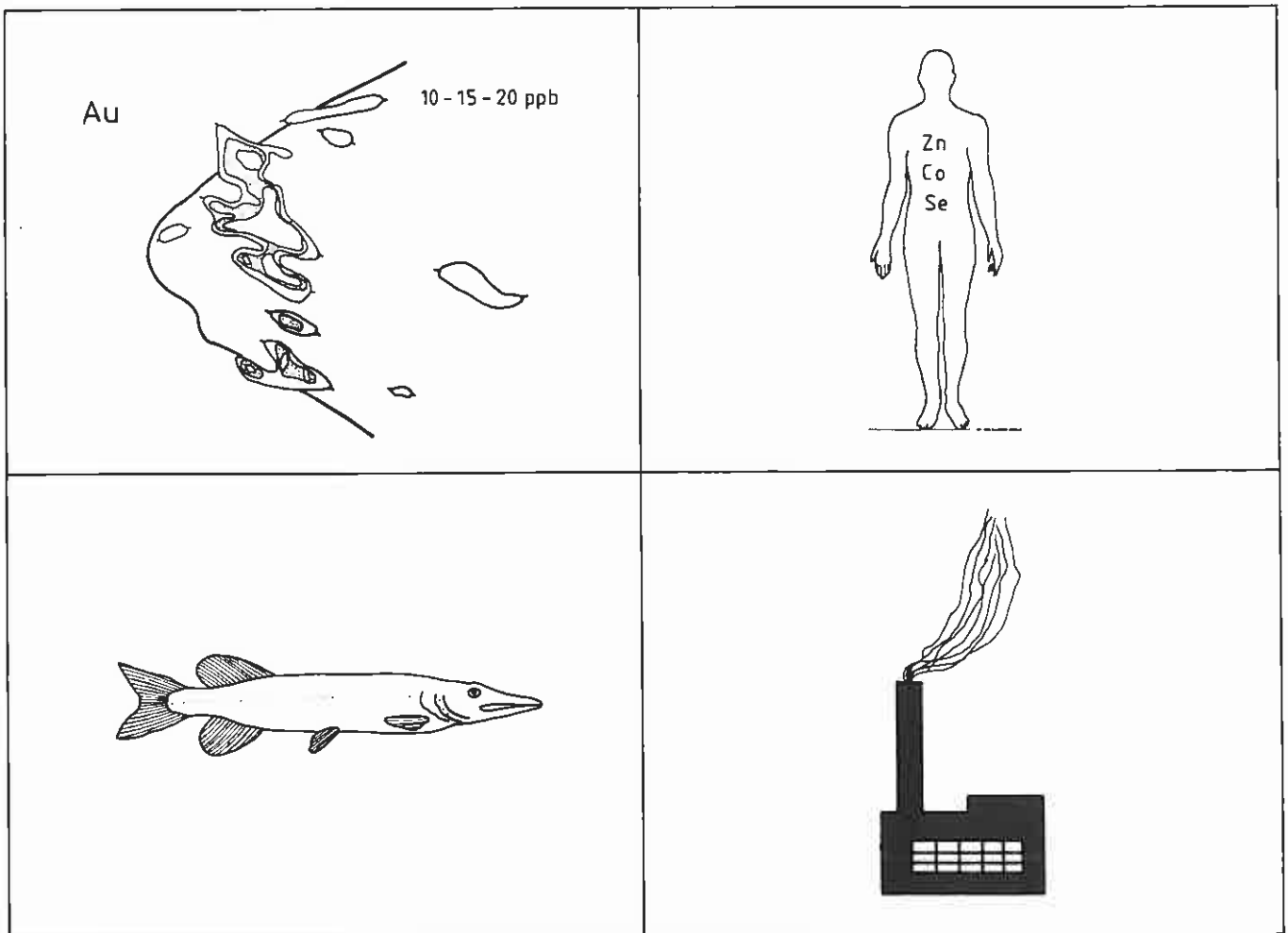




Rolf Rosenberg
Eeva-Liisa Lakomaa

20 vuotta aktiivointianalyysitoimintaa





20 VUOTTA AKTIVOINTIANALYYSITOIMINTAA

Rolf Rosenberg
Eeva-Liisa Lakomaa
Reaktorilaboratorio

ISBN 951-38-1772-5
ISSN 0358-5085
Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1983

Julkaisija – Utgivare – Publisher

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, 02150 Espoo 15
puh. vaihde (90) 4561, teleks 122972 vttha sf

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, 02150 Esbo 15
tel. växel (90) 4561, telex 122972 vttha sf

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, SF-02150 Espoo 15, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telex 122972 vttha sf

VTT, Reaktorilaboratorio, Otakaari 3 A, 02150 Espoo 15
puh. vaihde (90) 4561

VTT, Reaktorlaboratoriet, Otsvängen 3 A, 02150 Esbo 15
tel. växel (90) 4561

VTT, Reactor Laboratory, Otakaari 3 A, SF-02150 Espoo 15, Finland
phone internat. + 358 0 4561

ROSENBERG, Roif & LAKOMAA, Eeva-Liisa, 20 vuotta aktivointianalyysitoimintaa. Espoo 1983. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita - Statens tekniska forskningscentral, Meddelanden - Technical Research Centre of Finland, Research Notes 217. 37 s.

UDK 543.53:539.125

Key words radioactivation analysis, atomic spectroscopy, neutron activation analysis

TIIVISTELMÄ

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktorilaboratoriossa sijaitsevan FiR 1 -tutkimusreaktorin 20-vuotisen toiminnan aikana on Suomeen kehitetty monipuolinen neutroniaktivointianalyysitoiminta. Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) rahoitti aktivointianalyysin kehittämistä aluksi kokonaan, myöhemmin osittain. KTM on tukenut erityisesti analyysien automatisointia. Seurauksena laboratoriolle on kansainvälistä huippuluokkaa oleva laitteisto, jonka avulla alkuainemääritysten lukumäärä on kasvanut vuoden 1979 n. 11 000 määrityksestä vuonna 1982 tehtyihin 290 000 määritykseen. Yli 50 eri alkuainetta voidaan analysoida aktivointianalyysillä reaktorilaboratoriossa.

Toiminta on jakautunut laite- ja menetelmäkehitykseen, erilaisiin yhteistyönä muiden alojen tutkijoiden kanssa tehtäviin tutkimusprojekteihin sekä palveluanalyysiin.

Laboratoriossa on kehitetty automaattinen uraanianalyysiaattori RAPIDURAN sekä automaattisia gammaspektrometreja.

Aktivointianalyysia on käytetty geologian alalla, teollisuuden, ympäristönsuojelun, lääketieteen, arkeologian ja rikostutkimuksen soveluksissa.

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
TIIVISTELMÄ	3
1 YLEISTÄ	5
1.1 Johdanto	5
1.2 Henkilökunta	6
1.3 Jatko-opinnot	7
1.4 Julkaisutoiminta	8
1.5 Rahoitus ja toiminnan rakenne	8
2 MENETELMÄ- JA LAITEKEHITYS	10
2.1 Johdanto	10
2.2 Uraanianalysointori	11
2.3 Analyysien automatisointi	12
2.4 Geologisten näytteiden instrumentaalinen moni- alkuaineanalyysi	14
2.5 Geologisten näytteiden radiokemiallinen aktivointi- analyysi	16
2.6 Biologisten näytteiden aktivointianalyysimenetelmät	16
2.7 Analyysien laadunvalvonta	17
3 ANALYYSIPALVELUTOIMINTA	18
4 AKTIVOINTIANALYYSIN KÄYTTÖ ERI ALOILLA	20
4.1 Geologiset sovellukset	20
4.2 Teollisuuden tutkimukset	20
4.3 Ympäristönsuojelu	21
4.4 Lääketiede	22
4.5 Arkeologia	23
4.6 Rikostutkimukset	23
5 AKTIVOINTIANALYYSITOIMINNAN TULEVAISUUDENNÄKYMÄ	24
KIRJALLISUUSLUETTELO	25

1 YLEISTÄ

1.1 Johdanto

Yksi tutkimusreaktorin merkittävistä sovellusalueista on aktivointi-analyysi. Myös Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) reaktori-laboratoriossa on aktivointianalyysia FIR 1 -reaktorin 20-vuotisen taipaleen aikana kehitetty ja sovellettu tutkimukseen ja palvelu-analytiikkaan. Vuosien varrella aktivointianalyysitoiminnan laajuus ja kohteet ovat vaihdelleet, mutta sen merkitys on kasvanut jatkuvasti. Reaktorilaboratorion alkutaipaleelle toiminnan rahoitus tuli kokonaan kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) projektirahoituksena. Laboratorion siirryttyä Valtion teknilliselle tutkimuskeskukselle myös pääosa rahoitusvastuusta siirtyi sille, ja muutaman vuoden aikana KTM tuki toimintaa vain pienellä panoksella. Vuosina 1974 - 1975 KTM rahoitti automaattisen uraanianalysointilaitteen, RAPIDURANin, rakentamisen. Vuosina 1980 - 1982 KTM rahoitti erityisesti aktivointianalyysin automatisointikehitystä huomattavilla summilla, ja tämän tuen avulla rakennettiin valmius malminetsintänäytteiden laajamittaiseen analysointiin ja luotiin myös pohja niille markkinoille, jotka tekevät mahdolliseksi itsensä kannattavan analyysitoiminnan tällä alueella.

Se että KTM:n projektirahoitusta ei jatkossa enää alueelle saataisi, vaikuttaisi negatiivisesti aktivointianalyysitoimintaan. Tyypillinen piirre osassa toimintaa on aina ollut se, että analysoidaan näytteitä ja alkuaineita, joita on konventionaalisilla menetelmillä vaikea tai mahdoton analysoida. Yleensä silloin on kysymys yksittäisistä näytteistä ja usein myös korkeakoulujen opinnäytteiden tarvitsemista analyyseista. Näille töille on yhteistä se, että kustannukset ovat näytettä kohden hyvin korkeat eikä analyysin tarvitsijoilla useinkaan ole rahaa. Silti analyysit on tehty ilman laskutusta tai nimellisellä laskutuksella. Nyt tällainen toiminta ei enää ole mahdollista. On keskityttävä suuriin, automatisoitavissa oleviin sarjoihin ja suurasiakkaisiin, mikä rajoittaa huomattavasti laboratorion vanhan perinteen noudattamista. Tulisihan jokaisen kyetä käyttämään hyödykseen Suomen ainoan tutkimusreaktorin suomia mahdollisuuksia.

Tämän raportin tarkoituksena on keskitetysti tarkastella minkälaisia tuloksia ja valmiuksia tähänastisella pitkään jatkuneella kehitysprojektilla on saatu aikaan. Julkaisu antanee käyttökelpoista perustietämystä ydintekniikan tutkimusrahoituksen kohdistamiseen jatkossa ajan hengen ja vaatimusten mukaisesti.

1.2 Henkilökunta

Aktivointianalyysiryhmässä työskentelijöitä on vuosien mittaan ollut useita. Seuraavassa mainitaan kuitenkin vain ne henkilöt, joiden panos aktivointianalyysin kehitykselle on merkittävä.

Ilmeisesti ensimmäinen aktivointianalyttikko oli prof. Jorma Routti, joka teki tietokoneohjelman NaJ-spektrien tulkitsemiseksi. Nykymuotoisen toiminnan aloittivat v. 1964 prof. Juhani Kuusi, reaktorilaboratorion nykyinen johtaja, ja tekn. tri Jussi Rastas, joka työskenteli laboratoriossa v. 1964 - 1965. Jussi Rastas rakensi Teknillisen korkeakoulun tiloihin ensimmäisen radiokemiallisen laboratorion, joka olikin käytössä vuoteen 1977 eli reaktorilaboratorion oman rakennuksen valmistumiseen saakka. Näissä tiloissa Jussi Rastas kehitti ensimmäiset radiokemialliset erotusmenetelmät aktivointianalyysia varten. Juhani Kuusen toiminta suuntautui teollisuussovelluksiin. Hänen toimintansa tällä alueella onkin kansainvälisesti tunnettu, ja se johti useisiin käytännön sovelluksiin teollisuudessa. Osittain samoilla linjoilla työskenteli tekn. lis. Bo Lindfors vuosina 1970 - 1973.

Seuraava varsinainen aktivointianalyysiryhmän tutkija oli fil. tri Erkki Häsänen, joka johti aktivointianalyysiryhmää vuosina 1966 - 1975. Tällöin sovellusalue laajeni huomattavasti ja tutkimuksen pääpaino siirtyi ympäristönsuojelututkimukseen ja lääketieteellisiin sovelluksiin. Vuosina 1967 - 1970 ryhmässä toimi fil. tri Jorma Heinonen, joka myöhemmin IAEA:n palveluksessa erikoistui analyysien laadunvalvontaan.

Aktivointianalyysiryhmän nykyinen johtaja fil. tri Rolf Rosenberg tuli reaktorilaboratorion palvelukseen v. 1970, ja hänen erikoisalansa on geologinen analytiikka ja analytiikan automaatio. Aktivointianalyysiryhmän nykyisistä tutkijoista tuli fil. kand. Riitta Zilliacus

laboratorion palvelukseen v. 1973 alueenaan geologinen analytiikka ja ydinmateriaalianalytiikka, fil. tri Eeva-Liisa Lakomaa v. 1975 alueenaan lääketieteelliset sovellukset ja v. 1980 fil. kand. Maija Kaistila, joka on nykyisin vastuussa tilaustöistä.

Jo hyvin aikaisessa vaiheessa toimintaan liittyi läheisesti instrumenttikehitys. Ryhmän elektronikot ovat dipl.ins. Aimo Sorsa v. 1974 - 1975, dipl.ins. Raimo Puntala 1976 - 1979 ja insinööri Lauri Vänskä vuodesta 1980.

Aktivointianalyysin muuta henkilökuntaa ovat tällä hetkellä tutkimusavustajat Juhani Aittomäki, Marja-Leena Kuutschin, Paula Nummi, Timo Rasanen ja Hannele Winter sekä laboratoriomestari Jaana Rantanen.

1.3 Jatko-opinnot

Opinnäytteet ovat aina olleet merkittävässä asemassa aktivointianalyysitoiminnassa. Toiminnan alusta saakka aktivointianalyysiryhmä on avustanut Teknillisen korkeakoulun eri osastoilla suoritettuja opinnäytteitä ilman veloitusta. Tätä toimintaa on jatkettu tähän saakka. Viimeksi on osallistuttu TKK:n vuoriteollisuusosaston kuonanmuodostustutkimuksiin, joiden yhteydessä on tehty useita opinnäytteitä.

Aktivointianalyysi on ollut pää- tai osa-aiheena useissa liseniaatti- ja väitöskirjatöissä reaktorilaboratoriossa. Tällaisia ovat Juhani Kuusen, Rolf Rosenbergin ja Eeva-Liisa Lakomaan väitöskirjat ja Bo Lindforsin liseniaattityö. Lisäksi ovat aktivointianalyysiryhmän jäsenistä väitelleet Erkki Häsänen aiheesta radioisotoopit ekosysteemeissä ja Jorma Heinonen analyysien laadunvalvonnasta.

Aktivointianalyysiryhmän tutkimusten yhteydessä on lisäksi tehty kaksi diplomityötä Teknilliselle korkeakoululle, viisi erikoistyötä Helsingin yliopiston radiokemian laitokselle ja useita erikoistöitä Teknilliselle korkeakoululle.

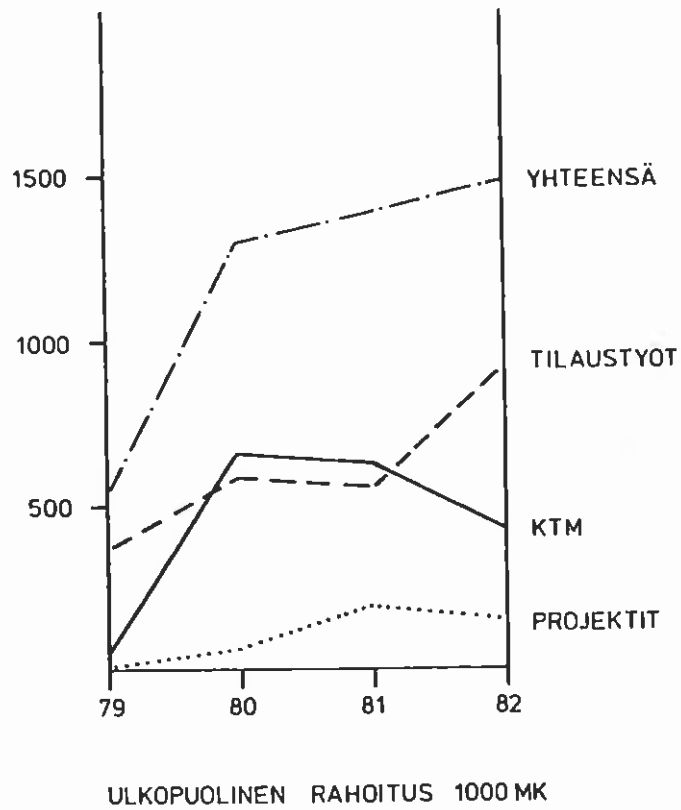
1.4 Julkaisutoiminta

Jo aikaisessa vaiheessa aktivointianalyysiryhmä alkoi aktiivisesti julkaista töitään. Reaktorilaboratoriossa tehtyjä aktivointianalyysiin liittyviä töitä on julkaistu aikakauslehdissä ja VTT:n raporttisarjoissa yli 100 artikkelia. Lisäksi ovat ryhmän tutkijat julkaisseet muunlaisiin töihin liittyviä artikkeleita.

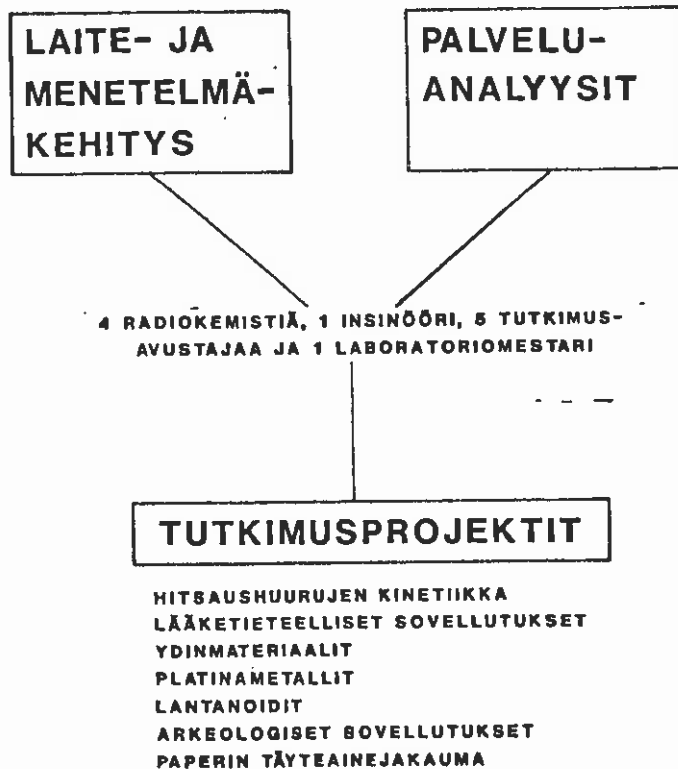
1.5 Rahoitus ja toiminnan rakenne

Aktivointianalyysitoiminta on aina ollut hyvin ulospäin suuntautunutta. Periaatteena on ollut, että tätäkin kautta voitaisiin mahdollisimman laajasti käyttää hyväksi maamme ainoan tutkimusreaktorin suomaa tutkimusmahdollisuuksia koko maan tarpeita ajatellen. Siten palveluanalyysien ja -tutkimusten teko on ollut luonnollista. Omaehtoista tutkimusta on tehty pääasiassa tutkimusvalmiuksien luomiseksi ja laboratorion tutkimusmahdollisuuksien demonstroimiseksi. Ajoittain palvelutoiminnan osuus on ollut väkisininkin niin suuri, ettei ole ollut helppoa havaita yllä mainitun periaatteen olemassaoloa. Päämäärä on kuitenkin ollut selvä ja viime vuosina käytännössäkin toteutunut. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkopuolisen rahoituksen osuus on kasvanut ja sen jakauma on muuttunut merkittävästi. Aktivointianalyysiryhmän reaalis-ten kulujen pysyessä vakiona v. 1979 - 1982 on ulkopuolisten tulojen kehitys ollut kuvan 1 mukaista. Tämä suuntaus jatkuu tästedeskin. Vuodesta 1980 lähtien on ulkopuolisten tulojen summan reaaliarvo jonkin verran laskenut, mikä johtuu osittain KTM:n rahoituksen laskusta ja osittain siitä, että aktivointianalyysiryhmän jäsenet aikaisempaa enemmän osallistuvat muihin kuin varsinaisiin aktivointianalyysi-projekteihin.

Kuva 2 esittää aktivointianalyysitoiminnan perinteisen rakenteen. Tehtävät voi jakaa kolmeen ryhmään: 1) varsinaiset analyysimenetelmä- ja laitekehitystyöt, 2) analyysipalvelut ja 3) erilliset projektit. Analyysimenetelmä- ja laitekehitystyö on viime vuosina ollut erityisen voimallista ja sitä on rahoittanut vuosina 1980 - 1982 pääasiassa KTM. Näillä ja lisäksi VTT:n perushankintamäärärahoilla on myös jonkin



Kuva 1. Aktivointianalyyssiryhmän ulkopuoliset tulot vuosina 1979 - 1982.



Kuva 2. Aktivointianalyyssiryhmän nykyinen toiminta.

verran tuettu eräitä erillisprojekteja, joiden koko rahoitusta ei ole saatu järjestymään, mutta joita on pidetty tärkeinä. Analyysipalvelutoiminta on pyritty pitämään itsensä kannattavana. Tässä on joskus ollut vaikeuksia sen vuoksi, että työ on suurimmalta osin koostunut pienistä tehtäväkokonaisuuksista. Jonkin verran tätä on kyetty tasapainottamaan kannattavilla uraanianalyyseilla vuosina 1974 - 1979. Vuonna 1982 KTM:n tuella tehty kehitystyö tuotti tuloksen siten, että analyysipalvelutoiminnasta saatu tulo kasvoi voimakkaasti ja sen kannattavuus siirtyi selvästi voiton puolelle. Tämä onkin aktivointianalyysitoiminnan edellytys nyt, kun KTM lopetti aktivointianalyysin rahoituksen. Erillisprojekteja on useita, ja ne ovat luonteeltaan hyvin erilaisia. Joissakin reaktorilaboratorion panos on merkittävä myös muun työn kuin analyysien osalta, kun taas toiset ovat vain erillainen tapa rahoittaa tilaustöitä. Näistä saatu tulo on vaatimaton, ja VTT:n rahoitusosuus on usein suuri.

2 MENETELMÄ- JA LAITEKEHITYS

2.1 Johdanto

Kaiken analyysitoiminnan edellytyksenä on luonnollisesti analyysimenetelmien kehitys. Aktivointianalyysin ollessa kysymyksessä tämä sisältää seuraavat vaiheet:

- 1 Standardien valmistus
- 2 Näytteen preparointi säteilytystä varten
- 3 Säteilytysproseduurit ja säteilytyksen ja mittauksen ajoitus
- 4 Mahdolliset radiokemialliset erotukset
- 5 Mittauksen optimointi
- 6 Tulosten käsittelyproseduurit
- 7 Analyysien laadunvalvonta,

Kaikissa näissä vaiheissa on otettava huomioon luotettavuuden ja kustannusoptimoinnin aiheuttamat erityisongelmat. Myöhemmässä vaiheessa kaupallisten mittalaitteiden puutteellisuudet pakottivat liittämään instrumenttikehityksen oleelliseksi osaksi analyysimenetelmien kehitystä.

Alkuvaiheessa analyysimenetelmien kehitys liittyi tiiviisti yhteen palveluanalyysien ja yleensäkin analyysitehtävien kanssa. Kun ryhmälle tuotiin ongelma jonkin alkuaineen määrittämiseksi jostakin näytetyypistä, kehitettiin analyysimenetelmä. Näytteet analysoitiin, ja saatiin uusi ongelma, joka taas ratkaistiin. Myöhemmin aktiivinen probleeman haku johti merkittäviin sijoituksiin. Tällöin muodostettiin varsinaisia menetelmäkehitysprojekteja, joiden laajuus oli useita henkilötyövuosia ja laitekustannukset suuria. Seurauksena laboratoriollla on kansainvälistä huippuluokkaa oleva tieto ja varustus sekä sen mukainen toiminta.

Kaikkiaan on kehitetty menetelmät yli 50 eri alkuaineen määrittämiseksi erilaisista näytteistä. Kuvassa 3 esitetään tällä hetkellä analysoitavat alkuaineet. Yksityiskohtia tästä työstä selvitellään tarpeen mukaan eri osissa tätä raporttia. Seuraavassa kuvataan lyhyesti suurimpia analyysimenetelmäkehitysprojekteja.

2.2 Uraanianalyysaattori

Uraanianalyysien tekeminen aloitettiin pienessä mittakaavassa jo 60-luvulla, jolloin viivästyneitä neutroneja mittaamalla tehtiin analyyseja kivinäytteistä. 70-luvun alussa käytettiin analyysimenetelmänä gammaspektrometriaan perustuvaa neutroniaktiivointianalyysia. Analyysikapasiteetti oli kuitenkin pieni. Vuosien 1972 - 1973 aikana suunniteltiin ja rakennettiin käsikäyttöinen neutroniaktiivointiin ja viivästyneiden neutronien mittaukseen perustuva uraanianalyysaattori /109/. Laitteisto perustui laboratoriossa aikaisemmin kehitettyyn nopeaan putkipostiin. Tähän lisättiin "timerit" ja ^{10}BF -ilmaisimiin perustuva neutronilaskentajärjestelmä. Analyysaattorissa käytettiin polyetyleenikapseleita, joiden sisätilavuus oli 0,5 ml. Analysointi oli täysin käsikäyttöistä: näyte laitettiin putkipostiin, ammuttiin reaktoriin, reaktorista mittausasemaan ja sitten jätteisiin erillisin toimenpitein. Myös tulokset laskettiin käsin.

Lisääntyvä uraaninetsintä maassamme tuotti niin paljon näytteitä, että jo vuoden 1974 alussa todettiin tämän menetelmän olevan liian hidas ja vaativan liikaa työvoimaa. Lisäksi analyysaattorin käyttö oli erittäin

pitkäveteistä ja huomattavan säteilyannoksen aiheuttavaa työtä. Tämän takia perustettiin uraanianalyysaattoriprojekti, jonka KTM rahoitti erillään muusta aktivointianalyysitoiminnasta. Suunnittelu ja rakentaminen kesti vuoden, ja analyysaattori, RAPIDURAN, otettiin käyttöön elokuussa 1975 /11, 88, 105/. Hieman myöhemmin laitteeseen lisättiin vaaka, ja 80-luvun alussa analyysaattorin käytön jo huomattavasti vähetessä uudistettiin putkiposti ja mittausasema.

RAPIDURAN on maailman kehittynein uraanianalyysaattori. Se on täysin automaattinen näytteenvaihtajalla varustettu laite, joka säteilyttää, mittaa ja punnitsee näytteet sekä laskee uraanitulokset pitoisuusyksikköinä. Laitteella on tähän mennessä analysoitu n. 140 000 näytettä.

Vuosina 1977 - 1978 rakennettiin uusi entistä kehittyneempi uraanianalyysaattori, joka myytiin Iraniin. Tällä hetkellä suunnitellaan uutta kehitysmäihin sopivaa uraanianalyysaattoria, joka olisi halvempi mutta toiminnoiltaan lähes saman veroinen kuin RAPIDURAN.

Uraanianalyysaattorille kehitettiin yksinkertainen menetelmä analysoida myöskin torium /96/. Normaalista aktivointianalyysistä huomattavasti huomattavasti herkkyytensä vuoksi menetelmä ei tällä hetkellä ole rutiinikäytössä.

2.3 Analyysien automatisointi

Instrumentaalisen aktivointianalyysin kehityksen olennaisena osana on automaation kehittäminen. Ensimmäisessä vaiheessa on kehitetty tulostenkäsittelyä. Vuoteen 1972 asti tulokset laskettiin käsin spektriliuskoista. Sitten kehitettiin ensimmäinen tietokoneohjelma, STOAV, Univac 1108 -tietokonetta varten /83/. Spektrit siirrettiin analyysaattorin muistista tietokoneen muistiin reikänauhaa käyttäen, ja ohjelma laski alkuaineiden pitoisuudet. Tämä uudistus vähensi jo huomattavasti työvoiman tarvetta. Seuraavaksi ruvettiin automatisoimaan mittauksia. Näytteenvaihtajalla varustettuna gammaspektrometrin kapasiteetti on nelinkertainen verrattuna käsikäyttöiseen laitteistoon. Ensimmäinen laitteisto valmistui v. 1975 /103/ ja seuraava paria vuotta myöhemmin. Laitteet toimivat siten, että näytteet ladattiin

näytteenvaihtajalle, jonka jälkeen laitteisto käynnistettiin. Näytteet mitattiin ennalta määrätyn ajan, ja mittausaikatiedot sekä spektrit tulostettiin reikänauhalle erillistä tietokonekäsittelyä varten. Myöhemmin siirryttiin käyttämään VTT:n Cyber 170 -tietokonetta. Samassa yhteydessä lopetettiin reikänauhan käyttö ja alettiin käyttää magneettinauhaa tiedon siirrossa. Tällöin kehitettiin uusi STOAV-versio ja otettiin myöskin käyttöön SAMPO-spektrin-tulkittamisohjelma /78/.

Näyttemäärien lisääntyessä todettiin tulosten off-line-käsittelyn olevan kohtuuttoman vaivalloista. Siksi päätettiin suunnitella täysautomaattinen gammaspektrometri, joka mittauksen lisäksi myös laskee tulokset. Tässä oli kaksi vaihtoehtoa: 1) hankitaan suurehko keskus-tietokone, johon liitetään kaikki analysaattorit tai 2) liitetään jokaiseen gammaspektrometriin erillinen mikrotietokone. Päädyttiin jälkimmäiseen vaihtoehtoon lähinnä helppous-, luotettavuus- ja käytettävyyssyistä. Kustannukset olivat kummassakin vaihtoehdossa saman suuruiset. Systemin kehitys aloitettiin 1980, ja nyt laboratoriollla on käytettävänä viisi laitteistoa pieniä näytteitä varten /110/ ja yksi suuria, kahden litran näytteitä varten. Systemiä varten jouduttiin kehittämään oma tietokone, joka perustuu Rockwellin AIM 65 -peruskorttiin. Koneen sanapituus on 8 bit ja vapaasti ohjelmoitava muisti 28 - 40 k versiosta riippuen. Basic-ohjelmisto on laajennettu 50 lisäkäsityllä lähinnä analysaattorin, näytteenvaihtajan ja I/O-laitteiden ohjausta varten. Oheislaitteiston ohjausta ja tulosten laskentaa varten on kehitetty laajahko Basic-kielinen STOAV 81 -ohjelma.

Aktivoidut näytteet ladataan näytteenvaihtajalle. Standardit ovat ensimmäisinä. Sitten syötetään tietokoneelle lähtötiedot ja käynnistetään laite. Spektrometri mittaa näytteet, analysoi spektrit ja laskee alkuainepitoisuudet sitä mukaa kun mittaukset valmistuvat. Alkuainepitoisuudet tulostetaan paperille ja kasetille siirrettäväksi tulosten käyttäjien tietokoneille. Tähän saakka näillä laitteistoilla on suoritettu yli 20 000 mittausta, ja ne ovat osoittautuneet erittäin luotettaviksi. Vastaavia laitteita ei ole myytävänä, ja siksi esiintyykin halukkuutta ostaa tällaisia laitteita laboratoriolta. Parhailaan neuvotellaan ensimmäisen spektrometrin myynnistä.

Vuoden 1983 aikana on tarkoitus siirtyä kehityksessä vieläkin eteenpäin valmistamalla täysautomaattinen aktivointianalyysaattori, joka sekä säteilyttää että mittaa näytteet ja laskee tulokset. Tätä tullaan käyttämään lähinnä analysoitaessa sellaisia alkuaineita, joista syntyy säteilytettäessä lyhytikäisiä radionuklideja.

2.4 Geologisten näytteiden instrumentaalinen monialkuaineanalyysi

Koska aktivointianalyysi soveltuu hyvin geologisten näytteiden analysointiin, instrumentaalista aktivointianalyysia on käytetty alusta saakka eri alkuaineiden analysoimiseksi. Jo toiminnan alkuaikoina analysoitiin lantanoideja, volframia, molybdeenia, jalometalleja, arseenia ja muita alkuaineita erilaisista geologisista näytteistä. Merkittävä sovellutus alkoi v. 1969 kun prof. B. Wiik sai analysoitavakseen kuunäytteitä Apollo-lennoilta. Tässä yhteydessä ruvettiin myös käyttämään suuren Ge(Li)-ilmaisimen lisäksi pientä Ge(Li)-ilmaisinta, niin sanottua X-ilmaisinta, mikä paransi huomattavasti mahdollisuuksia analysoida sellaisia alkuaineita, joista syntyvät nuklidit lähettävät pienenergistä gammasäteilyä. Tämä on tehnyt mahdolliseksi 11 lantanoidin analysoimisen instrumentaalisesti entisen 8 asemesta /80/. Menetelmää kehitettiin edelleen siten, että voitiin neutroniaktivointianalyysilla analysoida yli 40 alkuainetta sellaisella herkkyydellä, että ne näkyvät useimmissa kivissä /81, 82, 86, 89/.

Reaktorilaboratorion aktivointianalyysiryhmällä on aina ollut läheiset suhteet geologisiin ja malminetsintäorganisaatioihin, joiden tarpeet voidaan siten ottaa huomioon menetelmäkehityksessä. Yleisesti käytössä olevilla instrumentaalisisilla alkuaineanalyysimenetelmillä ei voida analysoida tarpeeksi herkästi eräitä tärkeitä malmimetallesja. Tällaisia ovat ennen kaikkea kulta, mutta myöskin molybdeeni ja volframi. Tästä syystä alettiin v. 1980 kehittää instrumentaalista epitermistä aktivointianalyysia massa-analytiikkaan sopivaksi. Menetelmässä absorboidaan säteilytettäessä termiset neutronit pois käyttäen kadmiumia. Monien vaiheiden jälkeen onnistuttiin kehittämään säteilytyskapselit, joissa voidaan säteilyttää yhteensä 600 näytettä viikossa. Menetelmällä voidaan yhdellä säteilytyksellä ja yhdellä mittauksella analysoida kuvan 4 mukaiset alkuaineet /99/. Rutiininomaisesti analysoidaan 23 - 24 alkuainetta.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	(Rf)	(Ha)													

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	(Lw)

Kuva 3. Reaktorilaboratoriossa aktiivointianalyysillä määritettävät alkuaineet.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na 250	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc 0,5	Ti	V	Cr 40	Mn	Fe 2500	Co 2,5	Ni 40	Cu	Zn 100	Ga	Ge	As 1	Se 4	Br 0,6	Kr
Rb 15	Sr	Y	Zr	Nb	Mo 1,5	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag 3	Cd	In	Sn 100	Sb 0,1	Te	J	Xe
Cs 0,6	Ba 80	La 1,5	Hf 3	Ta 0,5	W 2	Re	Os	Ir	Pt	Au 0,003	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	(Rf)	(Ha)													

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm 0,05	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu 0,05
Th 0,4	Pa	U 0,3	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	(Lw)

Kuva 4. Epitermisellä aktiivointianalyysillä geologisista näytteistä määritettävät alkuaineet.

2.5 Geologisten näytteiden radiokemiallinen aktivointianalyysi

Vaikka pyrkimyksenä onkin analysoida näytteet instrumentaalisesti, tämä ei aina onnistu. Tällöin joudutaan käyttämään radiokemiallista erotusta, jotta voitaisiin mitata haluttuja radionuklideja. Haihtuvia alkuaineita varten kehitettiin menetelmä, jossa analysoitava alkuaine haihdutetaan suoraan säteilytetystä näytteestä käyttäen induktiouunia. Haihdutus tapahtuu sopivassa kaasuvirrassa, joka johdetaan kyseiselle alkuaineelle sopivan absorbaattorin lävitse. Absorbaattori mitataan gammaspektrometrilla. Laboratoriossa on kehitetty menetelmät elohopean /85/, kloorin /91/, bromin /107/, jodin /26/ ja rikin /76/ määrittämiseksi geologisista näytteistä.

Laboratoriossa on suoritettu kivinäytteiden instrumentaalisia lantanoidimääryksiä vuodesta 1970 lähtien /80/. Menetelmän herkkyys riittää kuitenkin vain noin kolmeen ppm:ään saakka lantanoidien yhteispitoisuutena laskien. Lisäksi korkeat uraanipitoisuudet häiritsevät määrittystä korkeammassakin pitoisuuksissa. Koska esiintyi tarvetta analysoida lantanoideja ppb-tasolle saakka, kehitettiin tätä varten radiokemialliset aktivointianalyysimenetelmät /111/.

Aktivointianalyysi soveltuu hyvin jalometallien analysoimiseen. Instrumentaalisia kultamääryksiä tehdään paljon /99/, mutta herkkyys ei riitä kaikille näytetyypeille. Siksi on kehitetty nopea radiokemiallinen erotusmenetelmä kullalle /112/. Platina-, palladium- ja iridiummääryksiä malmipitoisuuksissa voidaan tehdä laboratoriossa kehitetyllä menetelmällä. Uutena projektina kehitetään parhaillaan yhteistyössä Geologisen tutkimuslaitoksen kanssa menetelmää, jolla voidaan analysoida kaikki kuusi platinametallia.

2.6 Biologisten näytteiden aktivointianalyysimenetelmät

Biologisten ympäristö-, elintarvike-, lääketieteellisten ym. näytteiden alkuainepitoisuudet ovat usein niin matalia, ettei instrumentaalisen aktivointianalyysin herkkyys riitä ko. aineiden analysointiin. Lisäksi biologista alkuperää oleviin näytteisiin säteilytettäessä muodostuvat ^{24}Na - ja ^{32}P -aktiivisuus häiritsevät monien aineiden analysointia niin paljon, että radiokemialliset menetelmät ovat tarpeen. Instrumentaalilla aktivointianalyysillä voidaan määrittää kloridia, bromidia,

natriumia, kaliumia, mangaania, rautaa, kobolttia, sinkkiä ja rubidiumia erilaisista biologisista näytteistä. Radiokemiallisia menetelmiä on kehitetty elohopean /18/, cesiumin /5, 6/ sekä arseenin, seleenin ja antimonin /93/ analysoimiseksi biologisista näytteistä.

Ge(Li)-puolijohdedetektoreiden kehittymisen myötä on tullut mahdolliseksi mitata useita nuklideja samasta preparaattista, jolloin voidaan tehdä monialkuainemäärityksiä. Tällaisia monialkuainemäärityksiä varten on kehitetty erotusmenetelmää /79/, jolla voidaan analysoida arseenia, seleeniä, antimonia, elohopeaa, kuparia, kobolttia, nikkeliä, rautaa, sinkkiä, kadmiumia, molybdeenia ja kromia erilaisista biologisista näytteistä.

2.7 Analyysien laadunvalvonta

On oleellisen tärkeätä tuntea se tarkkuus, jolla analyysit tehdään sekä säilyttää tämä tarkkuus. Tietenkin jokaisessa laboratoriossa tapahtuu virheitä, etenkin automaation lisääntyessä. Tällöin manuaalinen kontrolli vähenee ja virheelliset tulokset voivat jäädä huomamatta. Siksi osa laboratorion toiminnasta liittyykin tulosten laadunvalvontaan /7, 92/.

Jokaisen analyysimenetelmän kehitykseen liittyy tutkimus kyseisen menetelmän tuottamien analyysien tarkkuudesta. Erityisesti instrumentaalisen aktiivointianalyysin tarkkuutta on tutkittu geologista massa-analytiikkaa silmällä pitäen /87, 90, 99/. Standardireferenssimateriaalit ovat oleellinen väline analyysien laadunvalvonnassa, ja laboratorio on osallistunut myös tällaisten näytteiden todellisten pitoisuuksien määrittämiseen /94/. Lisäksi osallistutaan säännöllisesti kansallisiin ja kansainvälisiin analyysimenetelmävertailuihin. Vaikka näytteenotto ei kuuluakaan laboratorion rutiinitehtäviin, se on analytiikan oleellinen osa, ja joidenkin tutkimusten osalta on siihenkin puututtava /57/.

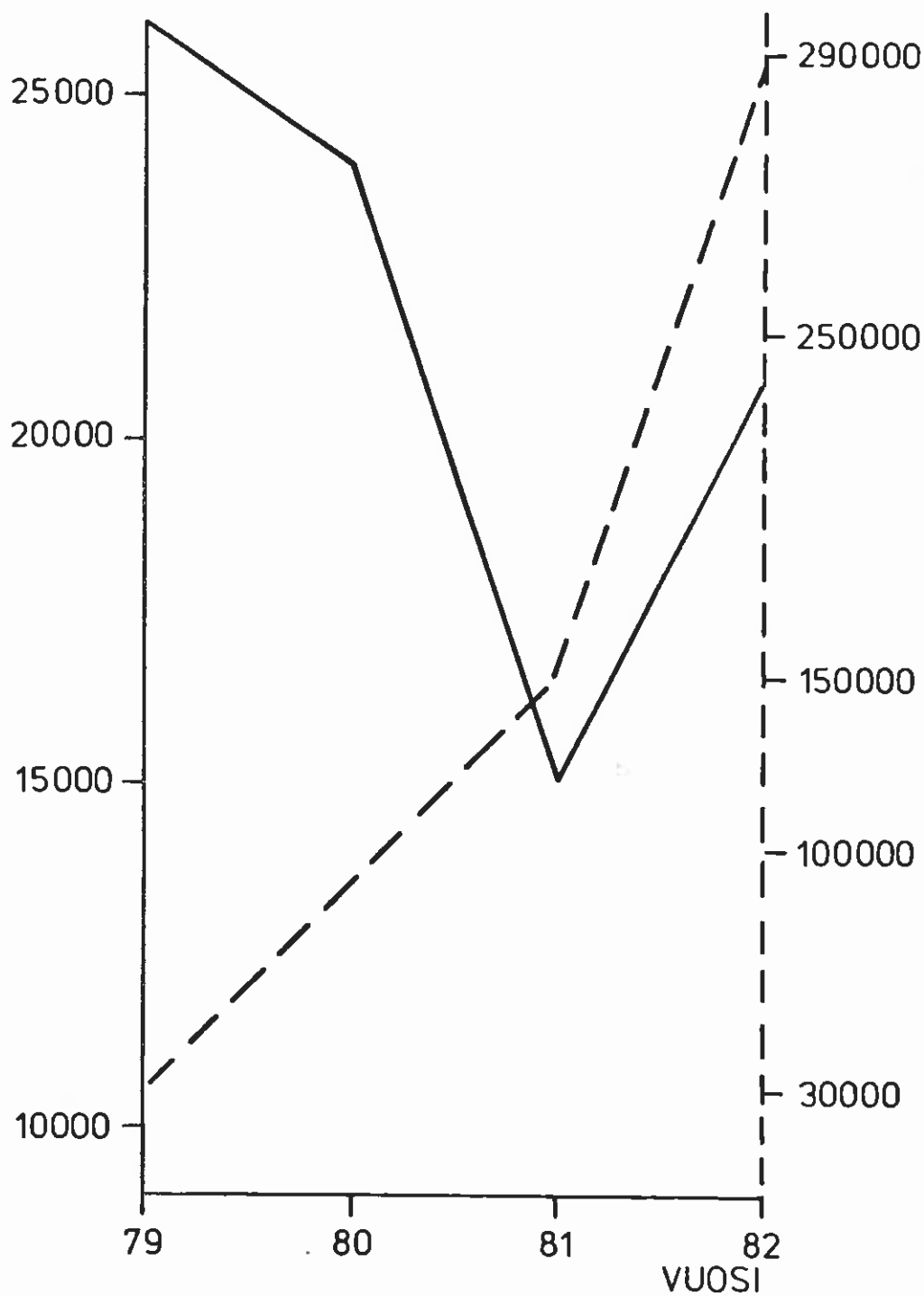
3 ANALYYSIPALVELUTOIMINTA

Reaktorilaboratorion aktivointianalyysiryhmä on koko toimintansa aikana suorittanut palveluanalyyseja. Kuka tahansa voi lähettää näytteitä analysoitavaksi, ja laskutus tapahtuu kiinteän hinnan mukaan omakustannusperiaatteella. Yleisesti analyysipalveluja ja aktivointianalyysin sovellusmahdollisuuksia on kuvattu useissa aikakauslehtiartikkeleissa /39 - 41, 43, 44, 50, 51, 84, 95, 97 - 100/.

Vuosien mittaan on analysoitu yli 50 eri alkuainetta mitä erilaisimmista näytteistä. Yleensä samantyyppisiä näytteitä on vain muutama, jolloin näytekohtaiset kustannukset ovat erittäin suuret. Näitä ei kuitenkaan ole kokonaan laskutettu, vaan kustannukset on tasattu suurten näytesarjojen tuomalla voitolla.

1960-luvulla ja 1970-luvun alussa ympäristönäytteiden elohopeamääritykset olivat merkittävin tulonlähde. Vuosina 1974 - 1979 taas tehtiin vuosittain 20 000 - 30 000 uraanimääritystä malminetsintänäytteistä ja tänä aikana uraani-analyysien osuus tilaustyötuloista oli alussa 85 % ja laski vuoteen 1979 mennessä 65 %:iin. Tällä välillä uraanin kokonaistuotto pysyi vakiona, mutta muiden aktivointianalyysien määrä kasvoi. Sen jälkeen vuosittainen uraani-analyysien määrä väheni nykyiseen alle 10 000:een malminetsintänäytteiden monialkuainemääritysten taas kasvaessa vuodesta 1980 lähtien (kuva 5). Vuonna 1982 tehtiin jo 12 000 monialkuainemääritystä, jolloin näiden osuus tilaustyötuloista oli 75 % ja uraanin osuus laski alle 10 %:iin.

Vaikka muutamien harvojen analyysityyppien osuus tuloista onkin ollut merkittävä, on palveluanalytiikan rikkaus kuitenkin ollut näytteiden erilaisuudessa. On vaikeata keksiä näytetyyppejä, jota ei olisi analysoitu. Geologia, malminetsintä, metallurgia, elektroniikkateollisuus, paperiteollisuus, leikkikaluteollisuus, painotekniikka, ympäristönsuojelu, energiateollisuus, lääketiede, työlääketiede, rikostutkimus, arkeologia, ravintotiede ym. ovat olleet edustettuina.



— NÄYTTEIDEN LUKUMÄÄRÄ
- - - ALKUAINEMÄÄRITYSTEN LUKUMÄÄRÄ

Kuva 5. Analysoitujen näytteiden ja alkuainemääritysten lukumäärän kehitys vuosina 1979 - 1982.

4 AKTIVOINTIANALYYSIN KÄYTTÖ ERI ALOILLA

4.1 Geologiset sovellukset

Suurin osa geologisten näytteiden analyysistä tehdään tilaustöinä eikä tulosten käytöstä ole aina edes tietoa. Joihinkin tutkimuksiin osallistutaan kuitenkin yhteistyöpohjalta.

Varsinaiset geologisten näytteiden monialkuaineanalyysit alkoivat kuunäytteiden analysoimisella. Laboratoriossa analysoitiin 30 alkuainetta kuunäytteistä, joita saatiin kaikilta Apollo-lennoilta /80, 82/. Tämän työn yhteydessä kehitettyä lantanoidianalyysimenetelmää sovellettiin lantanoidien geokemian tutkimukseen. Tältä alalta on julkaistu Suomessa useita töitä, joista merkittävimmät yhteistyössä Helsingin yliopiston geologian laitoksen ja VTT:n reaktorilaboratorion välillä /2, 4, 35 - 37, 53/. Nykyään Suomen Akatemia rahoittaa tätä tutkimusta. Reaktorilaboratorion lantanoidianalyysija on myös käytetty malminetsintään liittyviin tutkimuksiin. Merkittävä sovellus on lantanoidien määrittäminen pienistä separoituista mineraalinäytteistä Soklin tutkimusten yhteydessä.

Geokemiallinen uraaninetsintä maassamme perustuu suurelta osin reaktorilaboratoriossa tehtyihin analyysihin /3/. KTM:n rahoittama porfyryrimalmiprojekti perustui sekin suurelta osin reaktorilaboratorion molybdeenin-, volframin- ja kulta-analyysihin, ja tällä hetkellä useiden malminetsintäyhtiöiden kullin etsintä perustuu laboratorion kulta-analyysihin.

KTM rahoitti myös osittain tutkimusta, jossa selvitettiin mahdollisuuksia käyttää pohjavesien hivenainekoostumusta malminetsintätarkeiksi /70/.

4.2 Teollisuuden tutkimukset

Laboratoriossa suoritettuna aktiivointianalyysillä on paljon sovelluksia teollisuuden tutkimuksessa. Klassinen sovellus on paperin täyteaineen jakauman määrittäminen. Aktiivointianalyysillä voidaan määrittää mineraalisten täyteaineiden jakauman analysoimalla Al-, Ti-, Mg-

ja Ca-pitoisuudet mikrotomileikkausnäytteistä /45, 52/. Aktivointianalyysia on myös käytetty tutkittaessa natriumbisulfiittikeittoliuoksen diffuusiota puulastuihin /65/. Muista sovelluksista voidaan mainita esim. elektroniikkateollisuudesta metallikerrospaksuuksien määrittämiä kontakteissa ja eristeiden pinnalla.

Oma lukunsa on aktivointianalyysin käyttö stabiilimerkkiainekokeissa. Tällaisilla on tutkittu mm. vesivirtauksia /38/, offsetpainoa /28/ ja kuonanmuodostusta.

Radioisotooppineutronilähteen käyttöä aktivointianalyysissa on tutkittu paljon. Nämä tutkimukset, jotka ovat olleet kansainvälisestikin merkittäviä, ovat johtaneet useihin käytännön sovelluksiin metalli- ja sementtiteollisuudessa /42, 46 - 49/. Tätä tutkimusta varten kehitettiin myöhemmin laitteistot reaktorilaboratorioon /34, 66 - 69/.

4.3 Ympäristönsuojelu

Ympäristönsuojeluun kuuluvista analyyseistä /24/ pääosan ovat muodostaneet erilaiset elohopeamääritykset. Prof. E. Häsänen on osallistunut 60-luvulta lähtien elohopean aiheuttamien ympäristöhaittojen tutkimiseen /21, 25/, mihin ovat liittyneet tutkimukset elohopean esiintymisestä kaloissa /15, 104/, muissa eläimissä /10, 12, 71 - 75/, pohjasedimenteissä /1/, vesikasveissa /108/ ja yleensä vesistöissä /16, 22, 106/. Vuonna 1971 ryhmä osallistui OECD:n järjestämään tutkimukseen kalojen ja luonnonvaraisten eläinten elohopea- ja PCB-pitoisuuksista.

Elohopean lisäksi on tutkittu jodia /19/ ja bromia kaivovesistä. Elintarvikkeiden metallimäärittämiin aktivointianalyysi on myös sovellettu hyvin. Arseenia, bromidia, jodidia, elohopeaa ja seleeniä on analysoitu erilaisista näytteistä. Suomessa myynnissä olevien kalojen elohopea- ja kadmiumpitoisuuksien tasoa on tutkittu vuonna 1975 /56/.

Instrumentaalinen aktivointianalyysi soveltuu ilmanäytteiden monialkuainemäärittämiin. Tällaisia tutkimuksia varten on vuonna 1975 kehitetty ilmasuodattimien monialkuainemäärittämissä menetelmät. Ilmasuojelututkimuksiin liittyviä lentotuhka-analyysseja on tehty vuodesta

1980 lähtien. Konventionaalisten voimaloiden polttoainekierron eri vaiheista kerätyistä näytteistä on analysoitu 25 - 30 eri alkuainetta /27, 77/.

4.4 Lääketiede

Aktivointianalyysilla on tehty lukuisia lääketieteelliseen tutkimukseen liittyviä alkuainemäärityksiä. Yleensä työt ovat käsitelleet myrkyllisten metallien analysointia tai hyvin pienten näytteiden monialkuainemäärityksiä, jolloin aktivointianalyysin herkkyys on tarpeen.

Lääketieteellisiä sovelluksia on ollut toiminnan alusta lähtien. Tällöin alettiin seurata reumapotilaiden saaman kultahoidon tasoa analysoimalla seerumin ja virtsan kultapitoisuuksia. Kulta-analytiikka on yhä ajankohtaista. Myrkyllisten alkuaineiden esiintymistä erilaisissa kudokset-, veri-, virtsa- ym. näytteissä on tutkittu toiminnan alusta lähtien. Merkittäviä ovat olleet prof. Erkki Häsänen elohopean myrkyllisyyteen liittyvät työt 1960-luvun lopussa ja 1970-luvun alkupuolella /14, 23/. Aktivointianalyysi oli vielä 60-luvulla parhain elohopea-analyysiin sopiva menetelmä. Samoin on ollut seleeni-, arseeni-, antimoni-, bromidi- ja jodidimääritysten laita. Näitä aineita on määritetty koko toiminnan ajan lääketieteellisistä näytteistä /17, 19/. Muiden analyysimenetelmien, erityisesti atomiabsorptiospektrometrian voimakas kehitys on jonkin verran vähentänyt tarvetta analysoida elohopeaa, seleeniä ja arseenia lääketieteellisistä näytteistä aktivointianalyysilla. Aktivointianalyysia käytetään usein vertailumenetelmänä muille alkuaineiden määritysmenetelmille.

Lääketieteellisten sovellusten painopiste on siirtynyt tutkimuksiin, joissa kaivataan suurta herkkyyttä, esimerkiksi näytteen vähäisen määrän takia, tai joissa halutaan analysoida samasta pienestä näytteestä useita eri alkuaineita. Aktivointianalyysiryhmässä on tutkittu tällaisten näytteiden analysoinnin erityisongelmia /57, 61, 62/.

Vuosina 1970 - 1982 on tutkittu mm. syöpäpotilaiden kudospöytteiden alkuainepitoisuuksia, kuuloluiden alkuaineita, ^{137}Cs :n ja ^{24}Na :n biologisia puoliintumisaikoja ihmisellä /20/, alueellisia eroja lasten maitohampaiden alkuainepitoisuuksissa /54/, juomaveden alkuainepitoisuuksien ja sydän- ja verisuonitautien välisiä yhteyksiä, mykiöiden alkuainepitoisuuksia eri kaihityypeissä /58, 59/ ja pseudo-eksfoliaatiopotilailla /55/, toriumin vaikutusta maksasyövän kehittymiseen /13/ sekä selkäydinnesteiden analytiikkaa /60/. Työsuojeluun liittyviä tutkimuksia ovat elohopealle altistuvien henkilöiden veren ja virtsan elohopeapitoisuuksien analysointi /8, 9/ sekä hitsaushuuruksen keuhkokertymän selvittäminen /29/ ja erilaisten hitsaushuuruksen kinetiikan selvittäminen /30 - 33, 63, 64/.

4.5 Arkeologia

Aktivointianalyysi on myös käyttökelpoinen menetelmä arkeologisten näytteiden analysoimiseksi. Menetelmällä on analysoitu vanhojen tiilien hivenainekoostumusta. Kansallismuseolle on analysoitu vanhojen hopearahojen hopeapitoisuuksia. Aktivointianalyysi soveltuu tähän hyvin, koska näytteestä saadaan kokonaispitoisuus rikkomatta kuitenkaan näytettä. Lisäksi on analysoitu vanhojen kupari- ja pronssiesineiden hivenainekoostumusta /101, 102/. Hivenainekoostumuksen perusteella voidaan selvittää esineiden alkuperä.

4.6 Rikostutkimukset

Vuosina 1973 - 1978 on tehty antimoni- ja bariummäärityksiä ruudin palamisjälkien toteamiseksi. Tällaisiin alle mikrogramman antimoni- ja bariummäärien analysointiin aktivointianalyysi on sovellettu erittäin hyvin. Lisäksi on rikospoliisin toimeksiantoina analysoitu erilaisia näytteitä ja alkuaineita myrkytystapausten selvittämiseksi.

5 AKTIVOINTIANALYYSITOIMINNAN TULEVAISUUDENNÄKYMIÄ

Huolimatta siitä, että sovelluksia on vuosien mittaan ollut paljon, on huomattava osa työtä tähän saakka ollut menetelmä- ja laitekehitystä. Vaikka tulokset ovatkin olleet kansainvälisestikin merkittäviä, joudutaan rahoitusrakenteen voimakkaasti muuttuessa siirtämään painoa sovelluksiin.

Käynnissä olevista menetelmäkehityksistä jatketaan vielä mikrotietokoneen ja sen ohjelmiston kehitystä, rakennetaan täysautomaattinen aktivointianalyysaattori ja kehitetään uusi uraanianalyysaattori myyntitarkoituksiin. Omaan käyttöön tulevat laitteet rakennetaan tulevaisuudessa itse, mutta muiden valmistus pyritään siirtämään yksityisille yrityksille, ilmeisesti myös niiden laitteiden osalta, jotka liittyvät kehitysapuprojekteihin.

Varsinaisista menetelmäkehitysprojekteista tärkeimmät ovat platina- metallien analysointi geologisista näytteistä ja biologisten näytteiden semiautomaattinen radiokemiallinen aktivointianalyysi.

Kehityksen pääpaino tulee olemaan sovelluksissa. Malminetsintä ja yleensä geologinen analytiikka tulee olemaan tärkein alue tulevaisuudessakin, mutta lisäksi panostetaan lääketieteelliseen ja työlääketeieteelliseen tutkimukseen kuten ennenkin. Ydinmateriaalianalyttinen kehitys on jo päässyt alkuun. Samoin tulee ympäristönsuojeluanalytiikka ilmeisesti jälleen kasvamaan volyymiltaan. Uusi ala, joka on selvästi kasvamassa, on aktivointianalyysin käyttö arkeologisessa tutkimuksessa. Myös teollisuuden tutkimus on sovellusalue, johon tulisi panostaa voimakkaasti.

Lisäksi on alan taitotiedon vieminen kehitysmaihin päässyt hyvälle alulle ja tulee ilmeisesti jatkumaan vähintään nykyisen laajuisena.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. ALHONEN, P., MIETTINEN, V. & HÄSÄNEN, E., Mercury in aquatic sediments of three polluted areas in Finland. Helsinki 1973. Vesihallitus, Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 7. 25 s.
2. BIRK, D., KOLJONEN, T. & ROSENBERG, R. J., RE distribution in Archean granitoid plutons of the Wabigoon Volcanic-plutonic belt. Can. J. Earth Sci. 16(1979), s. 270.
3. BJÖRKLUND, A., TENHOLA, M. & ROSENBERG, R., Regional geochemical uranium prospecting in Finland. Exploration of Uranium Ore Deposits. Proc. of a Symp. IAEA, Vienna, 1976. S. 283 - 295.
4. CARLSON, L., KOLJONEN, T., LAHERMO, P. & ROSENBERG, R. J., Case study of a manganese and iron precipitate in a ground-water discharge in Somero, southwestern Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 49(1977)2, s. 159 - 173.
5. HEINONEN, J. & HÄSÄNEN, E., Determination of cesium contents in biological material with the use of two inorganic ion exchangers in the chemical separation. Espoo 1969. Teknillinen korkeakoulu, raportti 85 (1969). 7 s.
6. HEINONEN, J. & HÄSÄNEN, E., Determination of caesium in biological material by neutron activation analysis. Radiochem. Radioanal. Lett. 4(1970)4, s. 181 - 187.
7. HEINONEN, J., The reliability of radiochemical and chemical trace analyses in environmental materials. Espoo 1977. Technical Research Centre of Finland, Electrical and Nuclear Technology, Publication 22. 101 s.
8. HERNBERG, S. & HÄSÄNEN, E., Relationship of inorganic mercury in blood and urine. Work-Environment-Health 8(1971), s. 39 -41.

9. HERNBERG, S., NIKKANEN, J. & HÄSÄNEN, E., Erythrocyte δ -aminolevulinic acid dehydratase in workers exposed to mercury vapor. *Work-Environment-Health* 8(1971), s. 42 - 45.
10. HERVA, E. & HÄSÄNEN, E., Perämeren norpan elohopeapitoisuudesta. *Suomen Eläinlääkärilehti* 1972:9, s. 445 - 448.
11. HIISMÄKI, P., PITKÄNEN, V., ROSENBERG, R. & SORSA, A., An automatic device for large scale analysis of uranium in rocks and sediments. *Nuclex 75*, Basel, October 11 - 14, 1975. Colloquium C, series 2. 10 s.
12. HÄKKINEN, I. & HÄSÄNEN, E., Mercury in eggs and nestlings of the osprey (*Pandion haliaetus*) in Finland and its bioaccumulation from fish. *Ann. Zool. Fennici* 17(1980), s. 131 - 139.
13. HÄRKÖNEN, M., TARVOLA, R., SAVOLAINEN, O., WENNSTRÖM, J. & LAKOMAA, E-L., Thorotrast® ja maksasyöpä. *Duodecim* 97(1981), s. 960 - 962.
14. HÄSÄNEN, E., Mercury concentrations in fish as a health hazard. *Insinöörilehti* 10(1967), s. 424 - 426.
15. HÄSÄNEN, E. & SJÖBLOM, V., Kalojen elohopeapitoisuus Suomessa vuonna 1967. *Suomen Kalatalous* 36(1968), s. 1 - 24.
16. HÄSÄNEN, E., Vesistöjen elohopeapitoisuudesta ja sen tutkimisesta. *Limnologisymposion 1969*, Helsinki 1972. S. 33 - 40.
17. HÄSÄNEN, E., Juomaveden jodipitoisuus ja verenkiertoelinten taudit. *Suomen Lääkärilehti* 24(1969), s. 797 - 801.
18. HÄSÄNEN, E., Determination of mercury in biological material by neutron activation analysis. *Suomen Kemistilehti* 43(1970), s. 251 - 254.

19. HÄSÄNEN, E., Iodine content of drinking water and diseases of the circulatory system. *Ann. Med. Exp. Fenn.* 48(1970), s. 117 - 121.
20. HÄSÄNEN, E. & RAHOLA, T., The biological half-life of ^{137}Cs and ^{24}Na in man. *Ann. Clin. Res.* 3(1971), s. 236 - 240.
21. HÄSÄNEN, E., MIETTINEN, V., OJALA, O. & RAUTAPÄÄ, J., The use and replacability of mercury in industry and agriculture in Finland. *Kemian Teollisuus* 8(1972), s. 530 - 533.
22. HÄSÄNEN, E., Mercury pollution of the aquatic environment in Finland. In *Comparative Studies of Food and Environmental Contamination*, IAEA, Vienna, 1974. S. 149 - 157.
23. HÄSÄNEN, E., Mercury pollution in Finland. *Proc. Symp. Problems of the contamination of man and his environment by mercury and cadmium*, EUR 5075, Luxembourg, 1974. S. 109 - 119.
24. HÄSÄNEN, E., Ydintekniikan käyttö analytiikassa ja ympäristötutkimuksissa. *Kemisti-Kemisten* 1(1974), s. 4 - 6.
25. HÄSÄNEN, E., Elohopea ympäristöongelmana Suomessa. *Ympäristö ja Terveys* 6(1975), s. 515 - 528.
26. HÄSÄNEN, E. & SALMELA, S., Determination of iodine in geological samples using neutron activation analysis and an induction furnace. *Radiochem. Radioanal. Lett.* 37(1979), s. 207 - 214.

27. HÄSÄNEN, E. & POHJOLA, V., Turvevoimalaitosten päästöt. Kemia-Kemi 9(1982), s. 243 - 246.
28. JUHOLA, H. & KAISTILA, M., Studies of the ink-water-balance in full-scale offset presses. Graphic arts in Finland. Julkaistaan.
29. KALLIOMÄKI, P-L., SUTINEN, S., KELHÄ, V., LAKOMAA, E-L., SORTTI, V. & SUTINEN, S., Amount and distribution of fume contaminants in the lungs of an arc welder post mortem: A correlative macro- and histopathologic ultrastructural, roentgenographic, chemical and magnetic study. Br. J. Ind. Med. 36(1979), s. 224 - 230.
30. KALLIOMÄKI, P-L., KIILUNEN, M., VAARANEN, V., LAKOMAA, E-L., KALLIOMÄKI, K. & KIVELÄ, R., Retention of stainless steel manual metal arc welding fumes in rats. J. Toxicol. Environ. Health 10(1982), s. 223 - 232.
31. KALLIOMÄKI, P-L., LAKOMAA, E-L., KALLIOMÄKI, K., KIVELÄ, R., KIILUNEN, M. & VAARANEN, V., Stainless steel manual metal arc welding fumes in rats. British J. Ind. Med. Julkaistaan.
32. KALLIOMÄKI, P-L., JUNTILA, M-L., KALLIOMÄKI, K., LAKOMAA, E-L. & KIVELÄ, R., Comparison of the behaviour of stainless steel and mild steel manual metal arc welding fumes in rat lungs. Scand. J. Work Environ. Health. Julkaistaan 1983.
33. KALLIOMÄKI, P-L., KALLIOMÄKI, K. & LAKOMAA, E-L., Retention and clearing of different welding fumes in rats. Am. Ind. Hyg. Ass. J. Julkaistaan 1983.
34. KARLSSON, C. & LINDFORS, B., Infångningsgamma-analys med isotopisk neutronkälla. Espoo 1974. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Reaktorilaboratorio, Tiedonanto 27. 30 s.

35. KOLJONEN, T. & ROSENBERG, R. J., Rare earth elements in granitic rocks. *Lithos* 7(1974), s. 249.
36. KOLJONEN, T. & ROSENBERG, R. J., Rare earth elements in middle precambrian volcanic rocks of Finland, with a discussion of the origin of the rocks. *Bull. Geol. Soc. Finl.* 47(1975), s. 127.
37. KOLJONEN, T. & ROSENBERG, R. J., Major elements and REE in tektites and three probable shock-metamorphic rock series of the Baltic shield. *Geochem. J.* 10(1976), s. 1 - 11.
38. KUOPPAMÄKI, R. & MUURINEN, A., The prediction of waste water dilution by a long-term tracer experiment. *Nord. Hydrol.* 7(1976), s. 231.
39. KUUSI, J., Aktivointianalyysi ja sen sovellutukset. *Vuoriteollisuus-Bergshanteringen* 1965:1, s. 42 - 43.
40. KUUSI, J., Neutroniaktivointianalyysi, uusi herkkä analyysimenetelmä. *Teknillinen Aikakauslehti* 55(1965)8, s. 68 - 75.
41. KUUSI, J., Aktivointianalyysin perusteet ja instrumentaaliset menetelmät. *Insinöörijärjestöjen koulutuskeskuksen julkaisu 14-65, Radioisotoopit tekniikassa, 1965. 13 s. + liitt. 10 s.*
42. KUUSI, J., The application of isotopic neutron sources to chemical analysis for process control in the metallurgical industry. *Proc. 1969 Int. Conf. Modern Trends in Activation Analysis, Vol. I. (J. R. DeVoe, Ed.) Washington D.C. 1969. Nat. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ. 312. S. 450 - 56.*
43. KUUSI, J., Isotooppiherätteiset ainetta rikkomattomat mittaus- ja analyysimenetelmät. Helsinki 1970. *Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 30-70, Ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät. 13 s.*

44. KUUSI, J., Radioisotooppiherätteisten menetelmien käyttö teollisuuden laadunvalvonta- ja prosessinsäätöanalyseissa. Arkhimeses 16(1970)1, s. 16 - 27.
45. KUUSI, J. & LEHTINEN, A. I., Neutron activation analysis of microtome cuts in examination of paper for its filler distribution. Pulp Paper Mag. Can. 71(1970)3, s. T65 - T71.
46. KUUSI, J., Radioisotope neutron activation analyzer for process control analysis. Nuclear Appl. & Technol., J. Am. Nucl. Soc. 8(1970)5, s. 465 - 473.
47. KUUSI, J., On the use of radioisotope methods of analysis for quality and process control in industry. Technical University of Helsinki, Reactor Laboratory, 1970. Väitöskirja.
48. KUUSI, J., Use of radioisotopic neutron sources for process control activation analysis. Isot. Radiat. Technol. 9(1971)1, s. 48 - 53.
49. KUUSI, J., Neutroniaktivointianalyysin käyttö prosessien ohjaukseen ja säätöön. Tutkimus ja tekniikka 1972:5, s. 6 - 12.
50. KUUSI, J., Finnish applications of radioisotopes. Isot. and Radiat. Technol. 9(1972)3, s. 359 - 360.
51. KUUSI, J., Ydintekniikan käyttö metallien perusteollisuudessa. Tutkimus ja tekniikka 1972:9, s. 29 - 33.
52. KUUSI, J., Typical examples of NAA applications in industry (working paper). Int. Atomic Energy Agency, Panel on Practical Aspects of Neutron Activation Analysis, Vienna 6 - 10 August, 1973.

53. KÄHKÖNEN, Y., MÄKELÄ, K. & ROSENBERG, R., REE in proterozoic metabasalts and associated volcanogenic sulphide ore from Haveri, southwestern Finland. Bull. Geol. Soc. Finl. 53(1981), s. 11 - 16.
54. LAKOMAA, E-L. & RYTÖMAA, I., Mineral composition of enamel and dentin of primary and permanent teeth in Finland. Scan. J. Dent. Res. 85(1977), s. 89 - 95.
55. LAKOMAA, E-L. & EKLUND, P., Trace element analysis of human cataractous lenses by neutron activation analysis and atomic absorption spectrometry with special reference to pseudo-exfoliation of the lens capsule. Ophthalmic Res. 10(1978), s. 302 - 306.
56. LAKOMAA, E-L., HÄSÄNEN, E. & PENTTILÄ, P-L., Eräiden myynnissä olevien kalalajien elohopea- ja kadmiumpitoisuuksista. Ympäristö ja Terveys 9(1978), s. 310 - 313.
57. LAKOMAA, E-L., Kliinisten näytteiden käsittely hivenainemäärityksiä varten. Suomen Lääkärilehti 34(1979), s. 2475 - 2477.
58. LAKOMAA, E-L. & EKLUND, P., Trace element analysis of human cataractous lenses by neutron activation analysis and atomic absorption spectrometry. Nuclear Activation Techniques in the Life Sciences 1978. Vienna 1979. IAEA-SM-227/1, s.333-343.
59. LAKOMAA, E-L., Instrumentaalisen neutroniaktivointianalyysin ja atomiabsorptiospektrofotometriian käyttö kaihipotilaiden mykiöiden alkuainepitoisuuksien tutkimisessa. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, filosofinen tiedekunta. Helsinki 1979. 138 s
60. LAKOMAA, E-L., Use of neutron activation analysis in the determination of elements in human cerebrospinal fluid. Trace Element Analytical Chemistry in Medicine and Biology, (Ed. P. Brätter & P. Schramel.) Walter de Gruyter & Co., Berlin 1980. S. 97 - 107.

61. LAKOMAA, E-L., Element analysis of small-size biological samples. *Kemia* 8(1981), s. 378 - 380.
62. LAKOMAA, E-L., Neutron activation analysis applied to some medical and occupational health studies. Espoo 1981. Technical Research Centre of Finland, Publications 3/1981. 34 s. + liitt. 42 s.
63. LAKOMAA, E-L., KALLIOMÄKI, P-L. & KIVELÄ, R., Instrumental neutron activation analysis in the study of stainless steel manual metal arc welding fumes exposure in rats. *J. Radioanal. Chem.* 72(1982), s. 637 - 644.
64. LAKOMAA, E-L., KIVELÄ, R., KALLIOMÄKI, K., KALLIOMÄKI, P-L. & KIILUNEN, M., Hitsaushuurunkertymiä tutkitaan eläinkokein. *Työ Terveys Turvallisuus* 1982:2, s. 22 - 23.
65. LINDFORS, B. KUUSI, J., JAUHO, P., KETTUNEN, J. & RANKI, J., Diffusion of ions from a sodium bisulphite cooking liquor into sprucewood chips. *Paperi ja Puu* 43(1972)4a, s. 147 - 157.
66. LINDFORS, B., Neutronilähde-aktivointilaitteisto INELKY. Espoo 1972. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Reaktorilaboratorio, Tiedonanto 5. 28 s.
67. LINDFORS, B., Användningen av neutron-aktiveringsanalys med isotopkälla vid processkontrollanalyser. Espoo 1972. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Reaktorilaboratorio, Tiedonanto 13. 32 s.
68. LINDFORS, B., Calculation of the relative counting rate of a well-type sodium iodide scintillation crystal in isotopic neutron source activation analysis. Espoo 1973. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Reaktorilaboratorio, Tiedonanto 20. 32 s.

69. LINDFORS, B., Calculation of the relative counting rate of a well-type sodium iodide scintillation crystal in isotopic neutron source activation analysis. Nucl. Instr. and Methods 109(1973), s. 317.
70. NORAS, P., KUUSISTO, E., ZILLIACUS, R. & HYYPPÄ, J., Pohjavesianalyysien käyttö geokemiallisessa malminetsinnässä. (Julkaistaan)
71. NUORTEVA, P. & HÄSÄNEN, E., Observations on the mercury content of *Myoxocephalus quadricornis* (L.) (Teleostei, Cottidae) in Finland. Ann. Zool. Fennici 8(1971), s. 331 - 335.
72. NUORTEVA, P. & HÄSÄNEN, E., Transfer of mercury from fishes to sarcosaprophagous flies. Ann. Zool. Fennici 9(1972), s. 23 - 27.
73. NUORTEVA, P. & HÄSÄNEN, E., Bioaccumulation of mercury in *Myoxocephalus quadricornis* (L.) in an unpolluted area of the Baltic. Ann. Zool. Fennici 12(1975), s. 247 - 254.
74. NUORTEVA, P., HÄSÄNEN, E. & NUORTEVA, S-L., Kvikksilveranrikning i kadaverätande insekter. Finlands Natur 37(1978)2, s. 39 - 41.
75. NUORTEVA, P., WUORENRINNE, H. & KAISTILA, M., Transfer of mercury from fish carcass to *Formica aquilonia* (Hymenoptera, Formicidae). Ann. Ent. Fenn. 44(1978), s. 85 - 86.
76. OLLILA, K., ROSENBERG, R. J. & SUKSI, J., Rapid radiochemical separations using an induction furnace: Determination of sulphur in rocks. J. Radioanal. Chem. 61(1981)1 - 2, s. 323 - 327.
77. POHJOLA, V. & HÄSÄNEN, E., An investigation of emissions from power plants using fossile fuels. Abstracts of the First Conference on Basic Energy Research in Finland, Suomen Akatemian monisteita, Helsinki 1982. S. 132.

78. RANTANEN, J. & ROSENBERG, R. J., A computer program for activation analysis. J. Radioanal. Chem. 79(1983)1, painossa.
79. REISSELL, A. & LAKOMAA, E-L., Kromin, kobolttin ja nikkelin määrittäminen kudoksenäytteistä radiokemiallisella aktivointianalyysillä. Espoo 1983. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 157. 44 s. + liitt. 2 s.
80. ROSENBERG, R. J. & WIIK, H. B., Instrumental activation analysis of 11 lanthanide elements in Apollo 12 lunar samples. Radiochem. Radioanal. Lett. 6(1971), s. 45 - 55.
81. ROSENBERG, ROLF, Instrumental activation analysis of geological samples. Comment. Phys.-Math. 42(1972), s. 279.
82. ROSENBERG, R. J., Instrumental activation analysis of lunar samples. Suomen Kemistilehti 45B(1972), s. 399.
83. ROSENBERG, R. J. & SEPPÄ-LASSILA, T., STOAV, Fortran-ohjelma instrumentaalisen aktivointianalyysin tulosten käsittelyä varten. Espoo 1972. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Reaktorilaboratorio, Tiedonanto 15. 44 s.
84. ROSENBERG, ROLF, Activation analysis. FAO/IAEA/Finland Course in the use of isotopes and radiation techniques in forestry research in the developing countries, Helsinki, Finland 5.6. - 21.7.1972.
85. ROSENBERG, R. & SALMELA, S., A simple method for the determination of mercury in rocks by activation analysis. Radiochem. Radioanal. Lett. 21(1975), s. 23 - 30.
86. ROSENBERG, R., Aktiveringsanalys av spårelement i stenprov. Kemisti 1976:3, s. 12.
87. ROSENBERG, R. J., Evaluation of error in the instrumental activation analysis of rocks, accuracy in trace analysis: Sampling, Sample Handling, Analysis. Washington 1976. NBS Special Publication 422. S. 1241.

88. ROSENBERG, R. J., PITKÄNEN, V. & SORSA, A., An automatic uranium analyser based on delayed neutron counting. J. Radioanal. Chem. 37(1977), s. 169 - 179.
89. ROSENBERG, R. J., Instrumental neutron activation analysis as a routine method for rock analysis. Väitöskirja. Espoo 1977. Technical Research Centre of Finland, Electrical and Nuclear Technology, Publication 19. 28 s. + liitt. 41 s.
90. ROSENBERG, R. J., & ZILLIACUS, R., Improving accuracy in routine instrumental activation analysis. J. Radioanal. Chem. 39(1977), s. 189 - 200.
91. ROSENBERG, R. J., A rapid method for the activation determination of chlorine in rocks. Radiochem. Radioanal. Lett. 40(1979), s. 115.
92. ROSENBERG, R. J., LAKOMAA, E-L. & ZILLIACUS, R., Quality control of chemical analysis at the Reactor Laboratory. Kemia-Kemi 6(1979), s. 7.
93. ROSENBERG, R. J., Radiochemical activation analysis of arsenic, selenium and antimony in biological samples. J. Radioanal. Chem. 50(1979), s. 109.
94. ROSENBERG, R. J. & ZILLIACUS, R., Instrumental neutron activation analysis of 23 elements in 8 new USGS standard rocks. Geostand. Newsllett. 4(1980), s. 191 - 198.
95. ROSENBERG, R. J., Elemental and nuclear analysis at the Reactor Laboratory. J. Radioanal. Chem. 60(1980), s. 303 - 313.
96. ROSENBERG, R. J., A simple method for the determination of uranium and thorium by delayed neutron counting. J. Radioanal. Chem. 62(1981), s. 145 - 149.

97. ROSENBERG, R. J., Neutron activation analysis at the Reactor Laboratory, Technical Research Centre of Finland. *Kemia-Kemi* 8(1981), s. 112 - 115.
98. ROSENBERG, R. J., Reactor neutron activation analysis in geology. *Geologi* 33(1981), s. 33 - 37.
99. ROSENBERG, R. J., KAISTILA, M. & ZILLIACUS, R., Instrumental epithermal neutron activation analysis of solid geochemical samples. *J. Radioanal. Chem.* 71(1982), s. 419 - 428.
100. ROSENBERG, R., Aktivointianalyysi, säteilyanalyysin apuvälineenä. *Tekniikka* 1982:4, s. 12 - 14.
101. ROSENBERG, R. J., Neutron activation analysis of the copper ring. *Fennoscandia antiqua* I(1982), s. 47.
102. ROSENBERG, R. J., Neutron activation analysis of ancient copper and brass objects. *Fennoscandia antiqua*, Julkaistaan 1983.
103. RUOTI, K., PITKÄNEN, V. & ROSENBERG, R., Automaattinen gamma-spektrometri. Espoo 1976. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Reaktorilaboratorio, Tiedonanto 35. 37 s. + liitt. 40 s.
104. SJÖBLOM, V. & HÄSÄNEN, E., Kvicksilverhalten i fisk i Finland. *Nord. Hyg. Tidskr.* 50(1969), s. 37 - 53.
105. SORSA, A., PITKÄNEN, V. & ROSENBERG, R., Rapiduran, automaattinen uraanianalysointilaitteisto. Espoo 1976. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Reaktorilaboratorio, Tiedonanto 33. 84 s. + liitt. 79 s.
106. SUKHAROEN, S., NUORTEVA, P. & HÄSÄNEN, E., Alarming signs of mercury pollution in a freshwater area of Thailand. *Ambio* 7(1978)3, s. 113 - 116.
107. SUKSI, J. & ROSENBERG, R. J., Activation analysis of bromine in rock samples. *J. Radioanal. Chem.* 62(1981), s. 73 - 77.

108. SUOMINEN, J., HÄSÄNEN, E. & NUORTEVA, P., Vesikasvien elohopeapitoisuuksista Hämeenkyrössä. Luonnon Tutkija 81(1977)4, s. 122 - 123.
109. TAMMINEN, A., Some applied isotope techniques at the Finnish Triga Laboratory. Triga Owners Conference, Pavia, Italy, 1972. Gulf, Triga Reactors, Gulf, Energy and Environmental Systems, T-743. S. 3-115 - 124.
110. VÄNSKÄ, L., ROSENBERG, R. J. & PITKÄNEN, V., An automatic gamma spectrometer for activation analysis. Nuclear Instruments and Methods. Julkaistaan 1983.
111. ZILLIACUS, R., KAISTILA, M. & ROSENBERG, R. J., Radiochemical neutron activation analysis of small lanthanoid concentrations. J. Radioanal. Chem. 71(1982), s. 323 - 332.
112. ZILLIACUS, R., Radiochemical activation analysis of gold in geochemical samples. Radiochem. Radioanal. Lett., Julkaistaan.

Valtion teknillinen
tutkimuskeskus VTT

VTT Tiedotteita 217

Asiakirjan päivämäärä - Datum - Date

Asiatunnus - Projektnummer - Project number

Toukokuu 1983

923112-6

Tekijä(t) - Författarna - Authors		Projektin nimi - Projektets namn - Name of project	
Rosenberg, Rolf Lakomaa, Eeva-Liisa		Ydinmateriaalianalytiikka	
		Toimeksiantaja - Uppdragsgivare - Commissioned by	
Nimeke - Namn - Titel			
20 VUOTTA AKTIVOINTIANALYYSITOIMINTAA			
Tiivistelmä - Referat - Abstract			
<p>Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktorilaboratoriossa sijaitsevan FIR 1 -tutkimusreaktorin 20-vuotisen toiminnan aikana on Suomeen kehitetty monipuolinen neutroniaktiivointianalyysitoiminta. Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) rahoitti aktiivointianalyysin kehittämistä aluksi kokonaan, myöhemmin osittain. KTM on tukenut erityisesti analyyseiden automatisointia. Seurauksena laboratoriolle on kansainvälistä huippuluokkaa oleva laitteisto, jonka avulla alkuainemääritysten lukumäärä on kasvanut vuoden 1979 n. 11 000 määrityksestä vuonna 1982 tehtyihin 290 000 määritykseen. Yli 50 eri alkuainetta voidaan analysoida aktiivointianalyysillä reaktorilaboratoriossa.</p> <p>Toiminta on jakautunut laite- ja menetelmäkehitykseen, erilaisiin yhteistyönä muiden alojen tutkijoiden kanssa tehtäviin tutkimusprojekteihin sekä palveluanalyysiin.</p> <p>Laboratoriossa on kehitetty automaattinen uraanianalyysiaattori RAPIDURAN sekä automaattisia gammaspektrometreja.</p> <p>Aktiivointianalyysia on käytetty geologian alalla, teollisuuden, ympäristönsuojelun, lääketieteen, arkeologian ja rikostutkimuksen sovelluksissa.</p>			
Avalainsanat - Nyckelord - Key words			
radioactivation analysis, atomic spectroscopy, neutron activation analysis			
Luokitus ja/tai indeksointi - Klass och/eller index - Class and/or index			
UDK 543.53:539.125			
Muut bibliografiset tiedot - Övriga bibliografiska data - Other bibliographic data			Kieli - Språk - Language
Reaktorilaboratorio			suomi
ISSN ja avainnimeke - nyckelnamn - key name			ISBN
Valtion teknillinen tutkimuskeskus			951-38-1772-5
Sivuja - Sidor - Pages	Hinta - Pris - Price	Luottamuksellisuus - Konfidentiell - Confidentiality	
37	25 mk	Julkinen	
Jakaja - Utgälad av - Distributed by		Vastaanottajan merkinnät - Mottagarens anteckningar - Receiver's notes	
Valtion painatuskeskus PL 516 00101 HELSINKI 10			

