



# LUND UNIVERSITY

## Miljöanalys med hjälp av kärnfysikalisk teknik - PIXE

Carlsson, Lars-Eric; Johansson, Eva-Martha; Johansson, Gerd; Johansson, Sven; Akselsson, Roland; Bohgard, Mats; Hansson, Hans-Christen; Lannefors, Hans; Malmqvist, Klas; Pallon, Jan

*Published in:*  
Ordo

1981

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Carlsson, L.-E., Johansson, E.-M., Johansson, G., Johansson, S., Akselsson, R., Bohgard, M., Hansson, H.-C., Lannefors, H., Malmqvist, K., & Pallon, J. (1981). Miljöanalys med hjälp av kärnfysikalisk teknik - PIXE. *Ordo*, 15(3), 3-8.

*Total number of authors:*  
10

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

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

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

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



# MILJÖANALYS MED HJÄLP AV KÄRNFYSIKALISK TEKNIK-PIXE

av Lars-Eric Carlsson, Eva-Lotta Johansson, Gerd Johansson, Sven Johansson, Roland Akselson, Mats Boghard, H-C Hansson, Hans Lannerfors, Klas Malmqvist, Jan Pallon

Under de senaste tio åren har en känslig analysmetod för grundämnen utvecklats vid institutionen för kärnfysik vid LTH. Metoden kallas PIXE (Particle Induced X-ray Emission) och medger att mycket små förekomster ( $10^{-9}$ – $10^{-12}$ g) av grundämnen kan bestämmas i små prov. Metoden är snabb. Ett par minuters analys ger en samtidig bestämning av ett stort antal grundämnen.

Analysmetoden används nu i ett stort antal laboratorier runt om i världen och har funnit tillämpning inom en rad olika områden så som medicin, biologi, yrkes- och omgivningshygien, meteorologi, geologi samt arkeologi. Lund har metoden huvudsakligen använts för omfattande studier av föroreningar i arbetsmiljö och yttre miljö, varför vi först redogör för vårt arbete inom dessa tillämpningsområden, varefter vi beskriver de fysikaliska principerna för analysmetoden och utvecklingsarbetet med den.

## TILLÄMPNINGAR INOM ARBETSMILJÖOMRÅDET

Luftföroreningar på industriarbetsplatser är något som på senare år har tilldragit sig intresse och diskuterats också utanför de aktuella arbetsplatserna. Vi har i flera omfattande projekt använt PIXE-metoden för att studera partikulära luftföroreningar som är vanliga i olika arbetsmiljöer.

## ÖVERVAKNING AV PARTIKULÄRA LUFTFÖRORENINGAR

Det vanligaste sättet att ta prov av partikulära luftföroreningar på arbetsplatser är att en provtagare fästs på arbetaren. Luft i närheten av andningszonen sugas genom ett tunt filter på vilket de luftburna partiklarna avskiljs. Den typ av filterprov som då erhålls kan rutinmässigt analyseras med avseende på grundämnesinnehållet med PIXE. Under de senaste

fem åren har ett stort antal sådana prover analyserats åt myndigheter och företag, som vill kontrollera att koncentrationerna av olika ämnen understiger de av Arbetskyddsstyrelsen fastställda hygieniska gränsvärdena.

För att PIXE-analyserna ska ge så mycket och så relevant information som möjligt arbetar vi också med att utveckla provtagare. Ämnesinnehåll i olika partikelstorleksfraktioner och tidsvariationer hos luftföroreningar är några exempel på vad som kan vara viktigt att känna till. Partiklarnas storlek är avgörande för var de hamnar i andningsvägarna vid inandning. Att bestämma tidsvariationer med god upplösning är också viktigt eftersom kroppens försvarsmekanismer ofta har svårare att klara av

hög belastning under kort tid än en lägre under längre tid, även om den totala exponeringen är densamma.

Utveckling av analysmetodik som kompletterar PIXE pågår för att vi ska få ökad information om de prover som tas (t.ex. om grundämnenas kemiska form).

## KARAKTERISERINGAR AV LUFTFÖRORENINGAR

I flera projekt som har stötts av Arbetskyddsfonden har vi gjort noggranna karakteriseringar av aerosoler (aerosol = luftburna partiklar) som bildas vid olika metoder för svetsning och termisk sprutning.

De egenskaper som har studerats har varit partiklarnas storlek och



form, deras grundämnessammansättning och i en del fall ämnenas kemiska form. Vi har studerat hur dessa egenskaper beror på valet av svets- och sprutmetod och hur de har varierat beroende på olika parametrar.

De finns flera anledningar till att man vill känna till luftföroreningarnas egenskaper i detalj. Ibland kan man bedöma direkt hur stor hälsorisk en arbetare utsätts för om aerosolen är väl karakteriserad, men ofta är hälsoeffekterna okända. I det senare fallet kan karakteriseringen tillsammans med medicinska undersökningar klargöra vilka egenskaper som medför hälsofara. Detaljkunskaper om föroreningar kan också användas för att möjliggöra val av metoder och parametrar som innebär mindre risker samt att ge vägledning om hur man kan skydda sig mot föroreningarna. Slutligen skapas underlag för att hänsyn kan tas till arbetsmiljöaspekter vid utveckling av nya metoder och processer.

Eftersom vi i våra tillämpningsprojekt lätt hamnar utanför våra egna kompetensområden, har vi sökt samarbete med andra institutioner. I arbetsmiljöutvärderingarna har vi haft samarbete med avdelningen för svetsteknik vid LTH, institutionen för hygien på universitet och yrkesmedicinska kliniken på lasarettet.

### BIOLOGISKA PROV

Av de partiklar man inandats fastnar grovt sett de som är mellan 1 och 20 mikrometer i övre luftvägarna, medan de mindre fortsätter ner i lungalveolerna. Partiklar i övre luftvägarna kan tänkas bli borttransporterade och nedsvälda, medan de i alveolerna antingen blir kvar under lång tid eller löser sig och transporteras vidare. Vid mötet med den fuktiga luften i luftvägarna genomgår en del partiklar kemiska förändringar, andra växer p.g.a. fuktupptag. Allt detta tillsammans gör det ibland mycket svårt att förutsäga hur, från en given dos aerosol, upptag och fördelning i kroppen kommer att ske. Det blir i sådana fall också svårt att avgöra om ett visst gränsvärde för partikelinnehåll i luften är tillräckligt för att man ska undvika hälsofara. Man kan därför komplettera luftmätningar med biologisk provtagning av blod, urin och liknande. En jämförelse av halterna i prov, tagna före och efter exponering kan avslöja hur mycket som tagits upp i kroppen, vilka absorptionsvägar som förekommit, hur dosen fördelats eller hur snart den utsöndrats. På så sätt bör man säk-

rare kunna bedöma vilka risker en arbetare utsätts för vid arbete i en miljö med höga halter av partikulära luftföroreningar.

Utvecklingsarbetet på biologiska prov är nu koncentrerat på att finna metoder för provberedning. Medan luftprov på filter kan analyseras direkt som de är måste biologiska prov först behandlas på olika sätt. Många av de ämnen man vill mäta i biologiska prov har så låga naturliga halter, att man utan en förkoncentrering inte kan mäta dem. Den förkoncentrering vi för närvarande utvecklar består av frystorkning följt av lågtemperaturinaskning. Vid den första processen avlägsnas vatten, vid den andra förbränns den organiska matrisen i provet. Beroende på sammansättningen kan man koncentrera provet mellan 20 och 200 gånger och kan då komma ner i nivåer som gör metoden intressant. Det återstår dock mycket arbete med att undersöka reproducerbarhet, förluster eller eventuell kontaminering under provtagning och provpreparering. Vid allt arbete bör t.ex. kontakt mellan prov och metall undvikas eftersom även mycket små tillskott märks i analysen. Detta är speciellt viktigt när man analyserar naturliga nivåer i biologiska prov, ämnen som krom och nickel kan alltid misstänkas häröra från provtagningsverktyg – om det är av stål. Här liksom i allt spårämnesarbetet är en stor portion skepsis och noggrannhet nödvändig.

### YTTERE MILJÖ

I studier av den yttre miljön så finns flera aspekter, som gör det ytterst viktigt att känna till halter av olika grundämnen, såväl föroreningar som naturligt förekommande. De två viktigaste media i yttre miljö för biokemiska kretslopp är vatten och luft. Detta gäller såväl människa som fauna och flora. Eftersom man funnit att även extremt låga halter av vissa ämnen i dessa media kan vara toxiska eller ha en viktig katalytisk verkan så har det uppstått ett starkt behov av en billig multielementmetod för spårelementanalyser. Vi har utvecklat och specialiserat PIXE-metoden för analyser av både vatten och luft i yttre miljö.

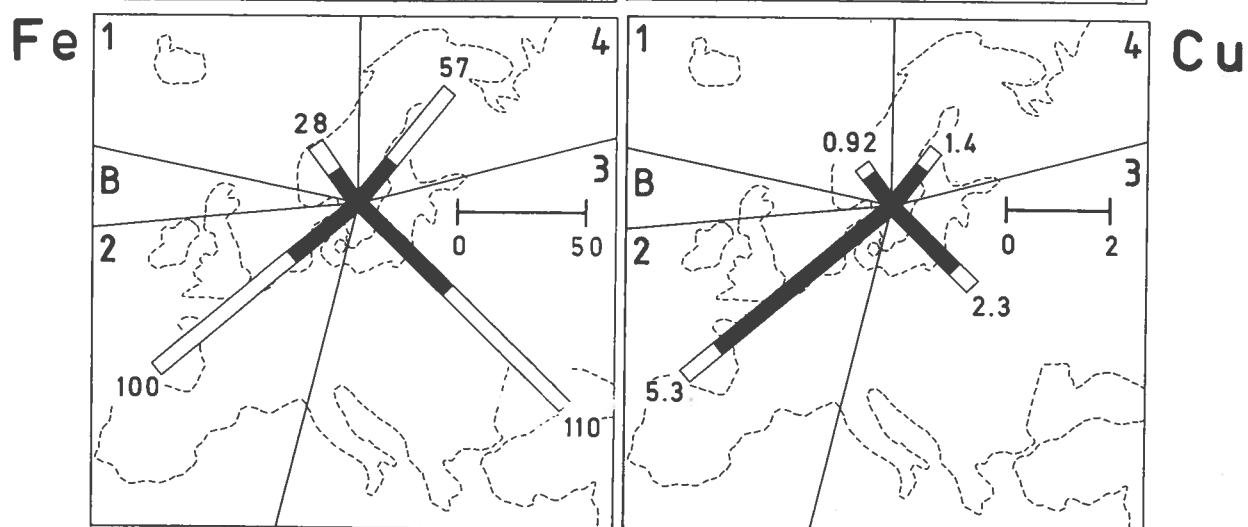
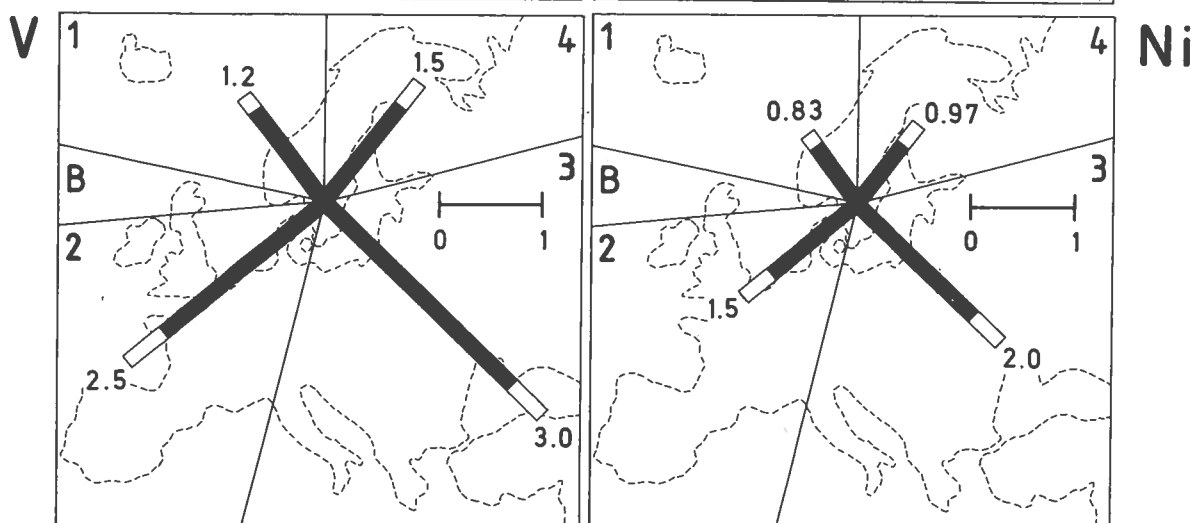
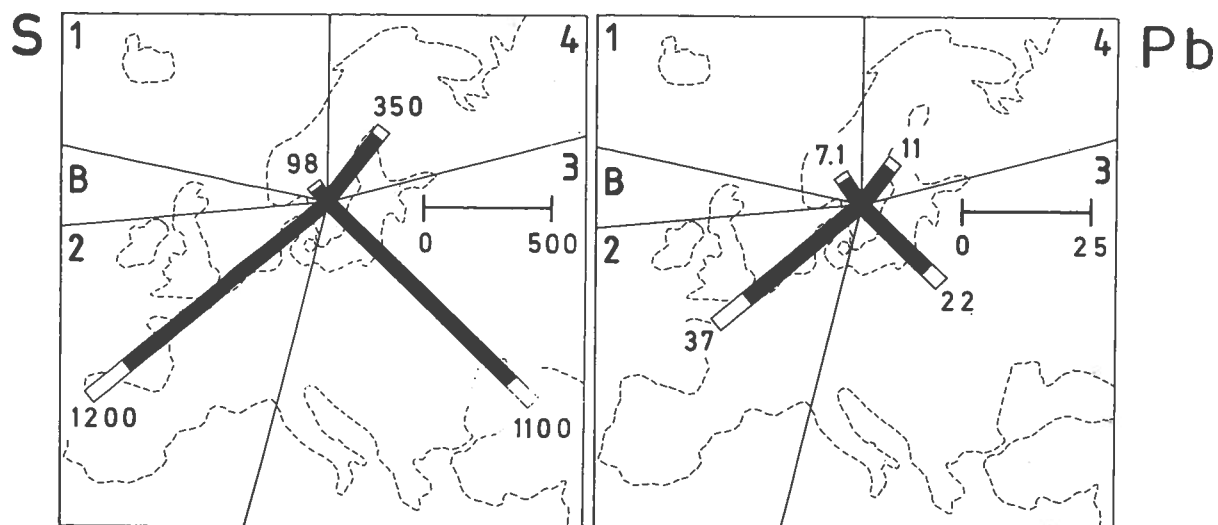
### LUFTMÄTNING FRÅN FALSTERBO TILL NORDPOLEN

Under fem års tid har vi i olika projekt åt i huvudsak Naturvårdsverket studerat transport av luftförorening-

ar. De flesta har väl hört talas om de skador svavelnedfallen tillfogar vår natur. Största delen av svavlet har visats vara transporterat flera hundra mil från källa till nedfall. Förutom svavel har vi samtidigt studerat ämnena K, Ca, Ti, Cr, V, Ni, Cu, Zn, Br och Pb. Vid en mätstation i södra Tiveden fjärran från industri och städer har vi gjort hundratals provtagningar genom åren i samarbete med meteorologer. Ett resultat av ett års studier redovisas i figur 1. Elementhalterna i den "rena" skogsluften är starkt beroende varifrån vindarna på ca 1 km höjd kommer ifrån. Staplarna i sektorena anger medelvärden av de mätningar under vilken "luftpaketet", ur vilket provtagning skett, har transporterats över området inom respektive sektor. Vi har följt vindvägen 48 timmar tillbaka. Transportsträckan under denna tid varierar mellan 100 till 500 mil. Den ofyllda delen av staplarna motsvarar den del av aerosolen, som består av partiklar större än  $10^{-6}$  m. Dessa kommer oftast från erosion, havsspray och korrosion. Mindre partiklar kommer huvudsakligen från förbränning och dylikt. Dessa representeras av den fyllda delen av stapeln. Det framgår tydligt att vid sydliga vindar sker en intransport av ett flertal element, speciellt i finpartikulärt stoft. Mätningar gjorda på Falsterbonäset och Onsala halvön visar liknande resultat. Vidare beräkningar visar att flera av de metallhalter vi finner i luften i Tivedens skogar kommer cirka en tredjedel till hälften från inhemska källor vid sydliga vindar.

Luftföroreningar kan alltså transporteras 1000-tals mil under vissa omständigheter. Detta innebär att känslig och extrem natur som t.ex. Arktis kan nås. Vi fick ett unikt tillfälle att tillsammans med en rad andra forskargrupper studera den arktiska miljön i samband med YMER-expeditionen i somras. Erfarenheter från Arktis ger kunskap, som direkt kan tillämpas på vår egen miljö, eftersom Arktis är en extrem miljö, utan t.ex. träd, vilket innebär att enskilda faktorer lättare låter sig studeras, än i vår egen mera komplicerade miljö. Skogens funktion som luftrenare och producent av aerosoler studeras i ett annat projekt i samarbete med ekologer i Lund. Det förhåller sig kanske så att vår skog är en mycket effektiv luftrenare, till skada för sig själv.

Fig 1 



Vår metodik har även befunnits synnerligen lämplig för undersökning av mera förorenade miljöer som t.ex. stadsmiljön. Figur 2 visar haltvariationen av bly och brom vid Biskopsgatan i Lund jämfört med trafikvariationen. Sambandet framstår klart, samt vid vilka tidpunkter du bör hålla andan.

### REGN, SJÖAR OCH HAV – BARA VANLIGT VATTEN

I alla naturvatten återfinns praktiskt taget alla grundämnen i koncentrationer varierande från ng/l ända upp till g/l. I sina naturliga koncentrationer är de flesta grundämnen nödvändiga i det biokemiska kretsloppet, men alltför stora variationer kan störa den naturliga jämvikten. Detta gäller i särskilt hög grad tungmetallerna, eftersom det "biologiska fönstret" där ofta är så smalt, att även en liten haltökning kan orsaka störningar.

Det är därför av vikt att dels kunna bestämma bakgrundshalterna, dels kunna följa halterna under en längre tidsperiod för att se om någon signifikant förändring sker. Vattendrag kontamineras till exempel genom lokala emissioner eller genom nederbörd. Problemet med försurning genom svavelnedfall är ju väl känt, men ett lika allvarligt problem är det tillskott av tungmetaller som deponeeras genom att nederbörden samlar upp stora mängder luftburna föroreningar, som ofta har hög halt av tungmetaller. När det gäller försurningen finns ju möjligheten att i vissa fall kunna motverka den genom att kalka vattendraget, men tungmetallerna kan inte på samma sätt oskadliggöras, utan de går in i det biologiska kretsloppet eller sprids ner i grundvattnet. Det är alltså av största vikt att på ett tidigt stadium kunna mäta en begynnande haltökning för att om möjligt kunna begränsa den i tid, om det är fråga om lokala emissioner. Den kontinentala intransporten av luftburna föroreningar är ju svårare att påverka.

Vi har, med stöd huvudsakligen från Naturvårdsverket, studerat olika naturvatten, bl.a. sjövattnet, havsvattnet och i viss mån nederbörd. Det har visat sig att PIXE är en mycket användbar metod även för vattenanalyser, både genom sin multielementkaraktär och genom att det behövs så ytterst små provmängder.

Genom att välja lämplig förkoncentrationsmetodik kan man för t.ex. havsvatten erhålla information om så gott som samtliga tungmetaller samtidigt, utan att analysen störs av

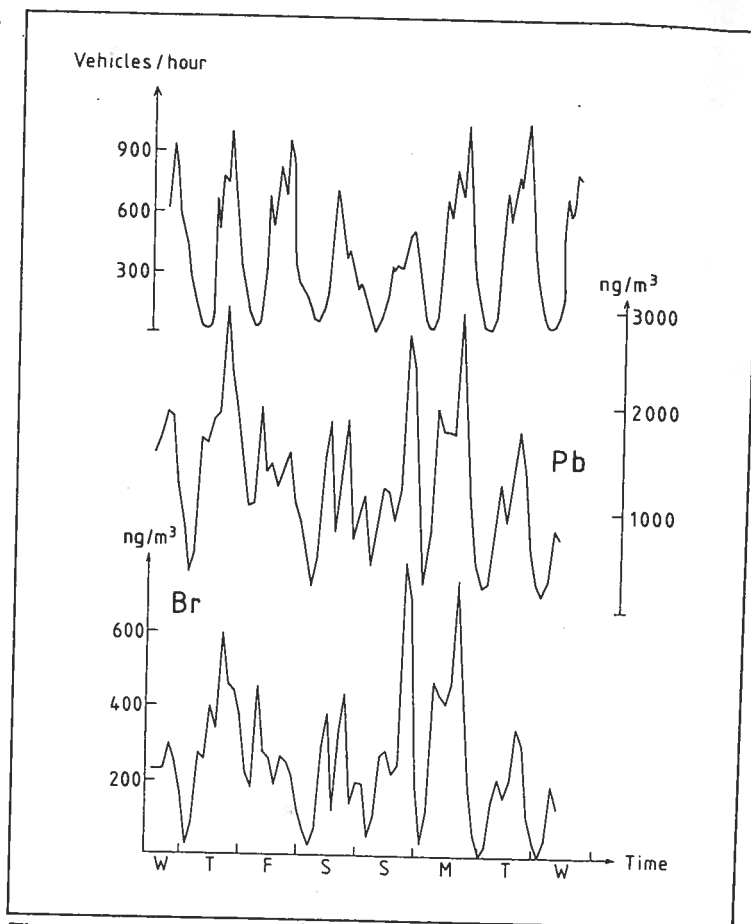


Fig 2: Halt variationer av bly och brom samt trafikvariationen vid Biskopsgatan i Lund.

de höga halterna av Na Cl och andra makrokomponenter. Detektionsgränserna kan fås så låga som några tiotal ng/l.

I ett annat fall, såsom för nederbörd, kan man välja en annan förkoncentrationsteknik som ger information om samtliga fasta och lösta föroreningar, alltså även makrokomponenterna.

I ett vanligt regnvatten- eller havsvattenprov kan man vid PIXE-analysen se ett tjugotal av våra vanligaste tungmetaller – något som gör att man börjar se lite annorlunda på begreppet "bara vanligt vatten".

I naturen finns emellertid inte bara smutsigt vatten, utan också extremt rena vatten, t.ex. havsvattnet i de arktiska regionerna. I samband med Ymer-expeditionen samlade vi även in en del vattenprov. Dessa planerar vi att analysera med PIXE, och får då pressa känsligheten till det yttersta för att över huvudtaget se några föroreningar!



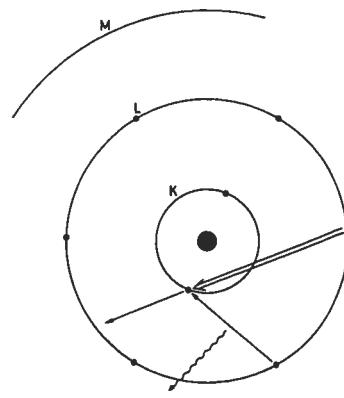
YMER expeditionen 1980  
Foto: H-C Hansson

## ANALYSMETODEN OCH DESS UTVECKLING

Principen för PIXE är att prover bestrålas med en energi av ett par MeV från en elektrostatisk accelerator. Sannolikheten är då stor att elektroner i provatomernas inre skal slås ut. Då vakanserna i dessa skal fylls med elektroner från ovanliggande skal, utsänds röntgenstrålning vars energi är karakteristisk för det aktuella atomslaget. Den karakteristiska röntgenstrålningens intensitet bestäms av hur många atomer, av det grundämne för vilket strålningen är karakteristisk, som ingår i provet.

Detaljerad kunskap om de fysikaliska grunderna för partikelinducerad röntgenstrålning och utvecklingen inom halvledartechniken under sextioalet var förutsättningarna för att en attraktiv analysmetod skulle kunna utvecklas. Moderna halvledardetektorer medger att karakteristisk röntgenstrålning från ett stort antal grundämnen kan registreras samtidigt, vilket har gjort multielementanalyser möjliga. Prover som innehåller många olika grundämnen ger komplicerade röntgenspektra. En mycket viktig del av utvecklingsarbetet har varit att ta fram tillförlitliga datorprogram för utvärdering av röntgenspektra upptagna med halvledardetektorer.

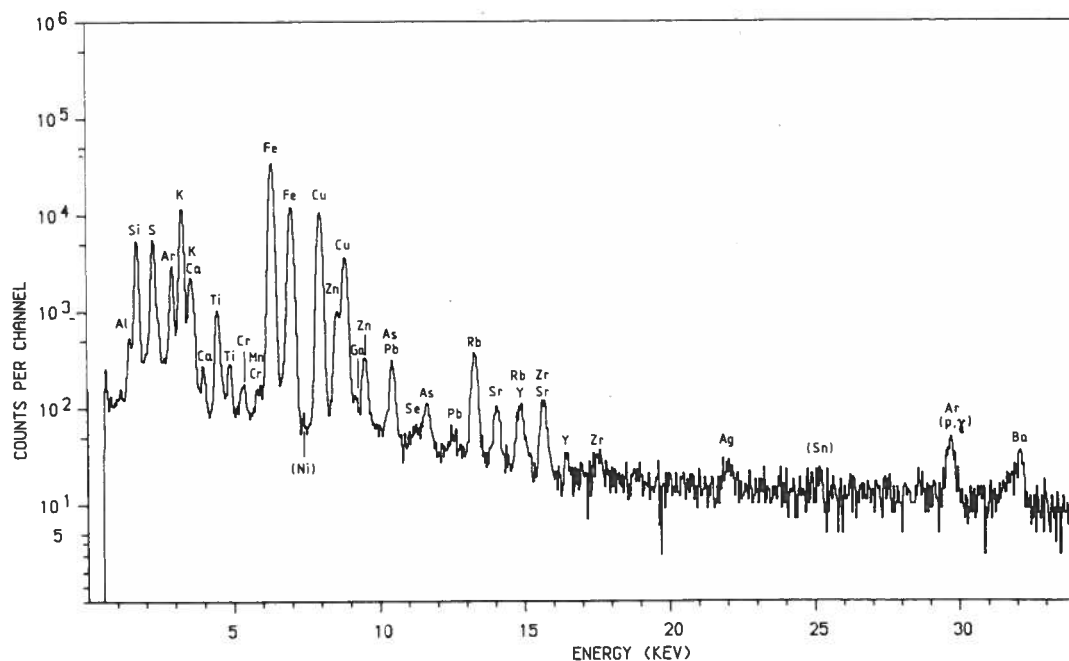
Den ökande opinionen och intresset för miljöfrågor på sjuttioalet var en annan anledning till att metoden kunde utvecklas. Det uppstod behov

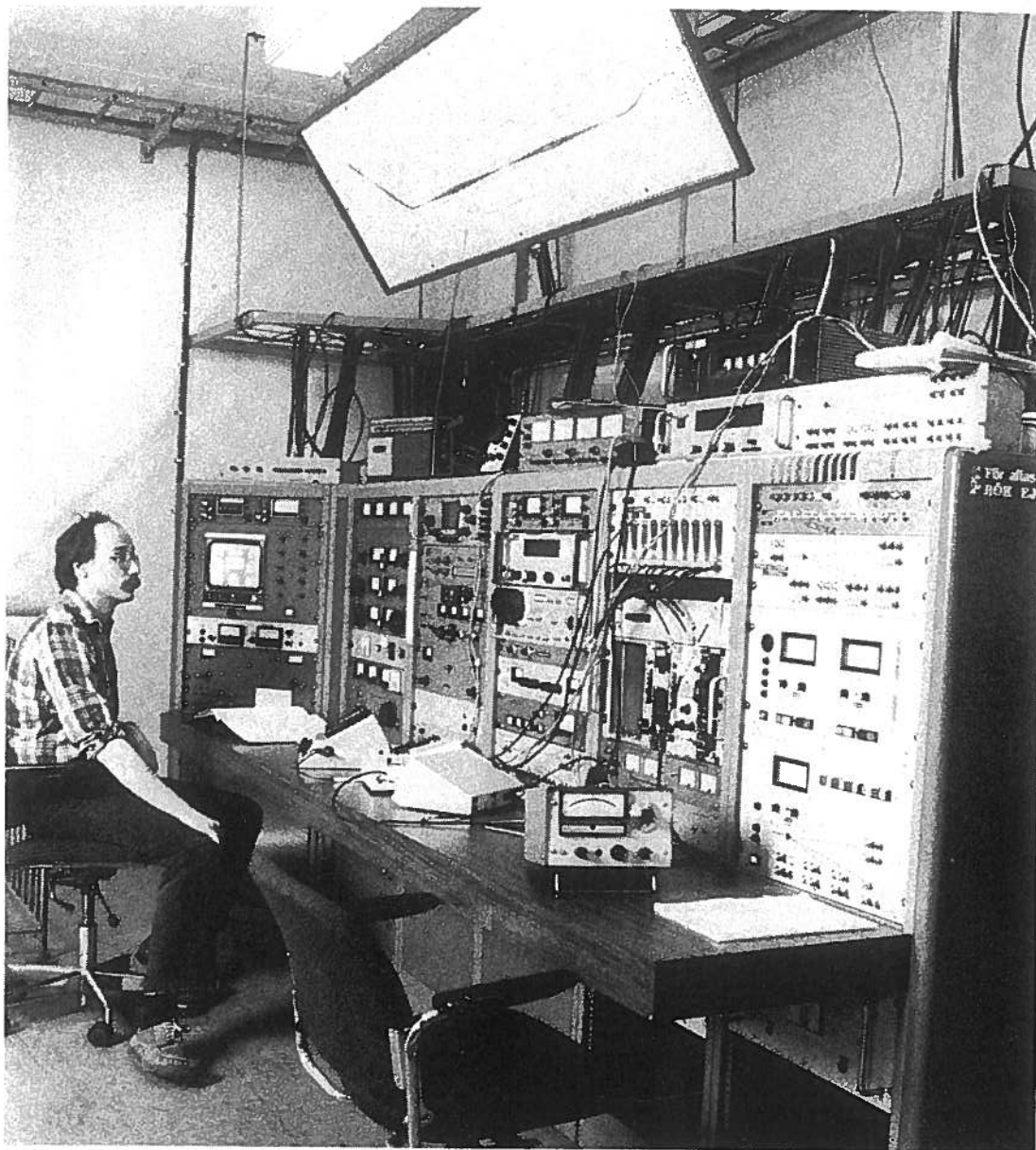


Schematisk bild av röntgenproduktion i en atom.

av att kunna bestämma små halter av tungmetaller i stora mängder av prover både från arbetsmiljöer och utomhusmiljöer. PIXE har visat sig ha flera unika egenskaper som har gjort metoden till ett användbart verktyg för att med hög kapacitet bestämma små halter av föroreningar, vilket skapar förutsättningar för ökad förståelse för deras uppkomst, spridning och förekomst. En stor del av utvecklingen av PIXE till en metod för rutinanalyser har bekostats av Arbetarskyddsfonden. Naturvårdsverket, Naturvetenskapliga forskningsrådet och STU har också

PIXE spektrum från analys  
av ett geologiskt prov.





deltagit som finansiärer till metodens utveckling.

I Lund har metodutveckling och arbete inom tillämpningsområdena skett parallellt. Arbete med tillämpningar ger kunskap om vilka analysbehov som finns till ledning för arbetet med metodutvecklingen. Metodutvecklingen ger i sin tur t.ex. kunskap om hur provtagning ska ske för att analysen ska ge optimal information med hög noggrannhet och precision i resultaten.

För närvarande pågår vid institutionen förutom arbete med tillämpningarna inom miljöområdet, utred-

ning av metodens användbarhet för geologiska prover och malmprospektering. Vi arbetar också med metodutveckling så att ökad och förfinad information om proverna ska kunna erhållas vid protonbestrålningen. Protonstrålen kan t.ex. fokuseras ner till några mikrometers diameter, vilket ger helt nya möjligheter att studera elementfördelning med hög upplösning i exempelvis biologiskt material. De kärnreaktioner som inträffar då protonstrålen träffar provatomernas kärnor kan också utnyttjas för analysändamål. Det finns möjligheter att med sådan komple-

mentär metodik analysera de lättaste grundämnena, vars karakteristiska röntgenstrålning har så låg energi att de är svåra eller omöjliga att analysera med PIXE.

Som det ser ut idag har metoden stora möjligheter att utvecklas till en allmänt vedertagen metod för multielementanalyser. Det som för närvarande sätter gränsen för hur snabb denna utveckling kan bli är i viss mån de ekonomiska men framför allt de personella resurserna för utvecklingsarbetet.

