



LUND UNIVERSITY

Forskning och utveckling med anknytning till arbetsmiljö inom och kring programmet för Teknisk Hygien i Lund

Akselsson, Roland; Bohgard, Mats; Johansson, Gerd; Malmqvist, Klas

1981

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Akselsson, R., Bohgard, M., Johansson, G., & Malmqvist, K. (1981). *Forskning och utveckling med anknytning till arbetsmiljö inom och kring programmet för Teknisk Hygien i Lund*. [Publisher information missing].

Total number of authors:

4

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

Forskning och utveckling med anknytning till arbetsmiljö inom och kring
programmet för Teknisk Hygien i Lund

En sammanfattning av erhållna resultat, pågående verksamhet och framtida
möjligheter.

September 1981

Roland Akselsson (1,2), Mats Bohgard (1), Gerd Johansson (1,2) och Klas
Malmqvist (1)

(1) Institutionen för kärnfysik, LTH, Lund

(2) Institutionen för hygien, LU, Lund

Innehållsförteckning

	sid
0. Sammanfattning	3
1. Introduktion	4
2. PIXE-laboratoriet	5
3. Aerosollaboratoriet	9
4. Karakterisering av partikulära luftföroreningar	15
5. Deposition via andningsvägarna	18
6. Biologiska/medicinska prov	19
7. Diskussion	22
Appendix Programmet för teknisk hygien	26

Arbetsmiljöanknuten forskning och utveckling kring programmet för teknisk hygien

0. SAMMANFATTNING

PIXE-metoden började utvecklas i Lund kring år 1970. Även om metoden numera används vid över 200 laboratorier över hela världen håller Lund sin position som ett av världens mest framstående PIXE-laboratorier. PIXE-metoden har unika egenskaper som bör göra den lämplig att använda inom forskning kring och övervakning av arbetsmiljöer. I Sverige bör vi således ha möjlighet att utnyttja metoden för effektiv övervakning och för unik forskning inom arbetsmiljöområdet. Unika egenskaper för PIXE-metoden är: sann multielementanalys av ppm-halten i små prov, snabba analyser till låga kostnader samt god precision och noggrannhet. Utvecklingsarbetet för att exploatera dessa egenskaper är långt framskridet och rutinanalyser på uppdragsbasis utföres i begränsad omfattning.

Metoden har bl a utnyttjats i ett ASF-projekt för att karakterisera svetsrök från olika svetsprocesser och i ett annat ASF-projekt i vilket rök från termisk sprutning undersökts särskilt med avseende på nickel och krom. Tack vare låga absoluta detektionsgränser är det möjligt att i aerosoler vilka normalt förekommer i t ex svetsarbetsmiljöer kunna bestämma många element i olika partikelstorleksfraktioner från små luftmängder.

Detta har använts för att jämföra utandad och inandad aerosol. Det är emellertid mera komplicerat än vad som framgår av litteraturen att bestämma depositionscurvor för svetsaerosoler, vilket beror på att partiklarna i svetsaerosoler består av kedjor och agglomerat som växer och ändrar form vid den höga luftfuktigheten som råder i andningsvägarna. Utvärdering av ett ASF-projekt pågår och arbetet fortsättes bl a genom ett ASF-projekt vid FOA 4 i Umeå.

Stora förväntningar riktas mot en bärbar provinsamlare för insamling av aerosol i två storleksfraktioner under t ex 16 st 15-minutersintervall utan tillsyn. Proven erhålles på ett sätt som lämpar sig för mycket snabba (10-tals sekunder) PIXE-analyser. Efter genomförda tester borde denna insamlare kunna användas för att i samarbete med bl a Arbetarskyddsstyrelsen utföra större inter-/nationella epidemiologiska undersökningar och för att genomföra ekonomiskt fördelaktiga

övervakningsprogram. Prototyper finns och tester pågår.

För att tillvarataga PIXE-metodens egenskaper och på grund av ett starkt intresse för praktiska insatser inom miljöforskningen är ett aerosollaboratorium av god svensk klass under uppbyggnad. Det är vår förhoppning att vi ska kunna utnyttja detta även långt framgent för forskning och utveckling inom aerosolområdet, vilket kan vara angeläget för arbetsmiljön, bostadsmiljön och den yttre miljö.

När det gäller analys av biologiskt material är vi ännu i initialskedet av utvecklingen. Målsättningen är dels att finna bra media för biologisk provtagning, dels utveckla teknik så att PIXE kan användas för metalltoxikologiska studier.

Utveckling av metodik för håranalyser pågår och vi har löst problemet med kvantifiering på ett tillfredsställande sätt. Hår skulle kunna vara en bra monitor för hur blodplasmans halt av metaller varierat. Med PIXE-metoden kan en bråkdel av en millimeter av ett enstaka hårstrå analyseras. Ett par dagars tidsupplösning kan kanske vara lämplig vid håranalys.

En uppdelning av metallförekomsten i plasma på olika proteinfractioner borde kunna ge värdefull information och några lovande uppslag på hur sådan information ska kunna erhållas kommer att testas 81/82.

1. INTRODUKTION

Verksamheten med primära frågeställningar inom arbetsmiljö- och miljöförhållningsproblematiken utgör en dominerande del av FoU-verksamheten inom PIXE-gruppen, vilket också understrykes av det samlande namn som används för denna del av verksamheten inom institutionen för kärnfysik: Programmet för teknisk hygien. Av naturliga skäl intar PIXE-metoden en framträdande roll då vi har expertis på en metod med en rad unika egenskaper.

Arbetsmiljöverksamheten, som dominerar programmets totala arbete, börjar bli alltmer diversifierad och det föreligger nu ett klart behov att sammanfatta denna verksamhet. Denna framställning är ett försök till en sådan sammanfattning som vi hoppas skall vara användbar för medelsbeviljande organ, för samarbetspartners, nuvarande och kommande, för

vår referensgrupp (se Appendix) samt för vår egen interna projektplanering.

2. PIXE-METODEN

- 2.1 Egenskaper
- 2.2 Historik
- 2.3 PIXE-metodens status
- 2.4 Framtida möjligheter

2.1 Egenskaper

Particle Induced X-ray Emission (PIXE) är en metod där tunga laddade partiklar - vanligen protoner eller alfapartiklar - används för att producera karakteristisk röntgenstrålning från prov. Fördelar med metoden är att många element (tyngre än fosfor) detekteras samtidigt, att i små prov (ungefär 1 μg - 1 mg) kan 0.1-10 ppm av många element detekteras, att metoden är snabb och har potentiella möjligheter att ge mycket billiga analyser samt att metoden är mycket tillförlitlig och ger god noggrannhet och precision.

Genom att samtidigt detektera gammastrålning inducerad av de laddade partiklarna i provet och/eller de laddade partiklar vilka spridits i provet kan även element lättare än fosfor analyseras. För vissa tillämpningar med god tillgång till prov kan inte PIXE-metoden nå under koncentrationsdetektionsgränser av 0.1-10 ppm med mindre än att man tillgriper förkoncentrationsteknik. Ett exempel på sådan teknik används inom ett pågående projekt där det tycks vara möjligt att nå ppt-halter i vatten med provmängder under 1 liter.

En nackdel med metoden är kravet på tillgång till partikelaccelerator och dator, vilket innebär investeringskostnader på 2-3 miljoner kronor. Med en hög genomströmning av prov är denna kostnad ej avskräckande eftersom analyskostnaderna trots detta kan hållas konkurrenskraftiga - för vissa prov kan kostnaderna sannolikt bli tio gånger lägre än vad motsvarande analyser kostar i dag med andra metoder. I ref 2-A och 2-B redogörs utförligare för PIXE-metoden.

2.2 Historik

Metoden utvecklades först i Lund (ref 2-C). Vidareutveckling har sedan skett här och vid ett växande antal laboratorier över hela världen. Detta har framgått av de två internationella konferenser om PIXE och dess tillämpningar som båda hållits i Lund, 1976 och 1980 (ref 2-D, 2-E, 2-F). F n pågår verksamhet vid över 200 laboratorier.

Av naturliga skäl (acceleratorer står i kärnfysiklaboratorier och är ganska dyra) har den största delen av utvecklingen genomförts av fysiker. Detta var de första åren nödvändigt men för en snabb utveckling och ett högt utnyttjande inom tillämpningsområden har det sedan inte varit optimalt. Det har för de flesta kärnfysiklaboratorier varit svårt att få anslag för utveckling av en spårelementanalysmetod. Brist på insikt i eller kontakter med andra områden betjänade av spårelementanalyser har också verkat hämmande på utvecklingen, liksom brist på kunskap om kompletterande kemiska analysmetoder och provbehandlingstekniker.

Vid jämförelser med insatser vid utveckling av andra metoder (NAA, ICP, XRF m fl) har endast en mycket liten bråkdel av energi och medel lagts ned på utveckling av PIXE-metoden. Ändå är PIXE-metoden redan nu fullt konkurrensduglig för flera olika typer av prov.

Förutom inom provbehandlingstekniken behövs insatser för automatisering av analysrutinerna. Detta har inte hittills lockat så många utan främst laboratorier med en mycket omfattande analysverksamhet. Däremot pågår ett intensivt utvecklingsarbete vid ett antal laboratorier för att kunna analysera så små prov som möjligt. Vid några klarar man nu att analysera neråt $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ stora prov med en tjocklek av ca 1 mg/cm^2 . Sannolikt kommer denna teknik att visa sig användbar vid studier av toxiska metallers förekomst i olika vävnader.

Eftersom det var huvudsakligen fysiker som började utveckla PIXE-metoden var det naturligt att elementanalys av partikulära luftföroreningar blev det applikationsområde som länge tilldrog sig störst intresse. Proven kunde samlas in på ett för fysikern lättfattligt sätt och var klara för analys utan att kemisk behandlingsteknik behövde tillgripas. Vid den första PIXE-konferensen (1976, ref 2-D) var aerosolanalyser det tillämpningsområde som samlade flest bidrag.

Även om ytterligare utveckling behövs för att tillfullo tillvarataga PIXE-metodens möjligheter är i dag aerosolanalyser med PIXE rutin (se avsnitt 3). Därefter har verksamheten hos PIXE-grupper, intresserade av vidare forskning och utveckling kring metoden, riktats mot andra tillämpningar och under den andra PIXE-konferensen (1980) var tillämpningsbidrag inom biologiska/medicinska området störst till antalet. Man kan också notera att PIXE-grupperna blivit större och mer tvärvetenskapligt sammansatta. Bristen på analytiska kemister är emellertid slående. Man kan fråga sig: Beror detta på att fysikern ej vill släppa sitt monopol eller på att kemisterna tycker att apparaterna är alltför kärnfysikaliska?

Lund har under hela PIXE-metodens 10-årsperiod legat i fronten vad gäller metodutveckling. Specifikt för Lundalaboratoriet har också varit intresset och insatserna för arbetsmiljön, främst vad gäller aerosoler. Under det senaste året har emellertid alltmer intresse fokuserats på biologisk/medicinska prov av arbetsmiljöintresse.

Vidare har vi i Lund en omfattande FoU-verksamhet vad gäller den yttre miljöns aerosoler (källor, transport och deposition). Det finns naturligtvis många beröringspunkter mellan detta område och studier av arbetsmiljöns aerosoler. Andra tillämpningsområden med stark ställning i Lund är analys av vatten och geologiska prov.

Den höga kapaciteten hos ett PIXE-laboratorium gör det möjligt att driva flera olika tillämpningsområden och då analyskostnaden per prov blir lägre vid ett högre antal prov är det även från ekonomisk synpunkt angeläget att bedriva flera aktiviteter parallellt.

2.3 PIXE-metodens status

Hur långt PIXE-metoden nu utvecklats framgick av "The Second International Conference on Particle Induced X-Ray Emission and Its Analytical Applications, Lund 1980 (ref 2-E). I detta avsnitt göres bara ett försök till en kort summering av PIXE-metodens status i Lund.

PIXE-gruppen i Lund utnyttjar en 3 MV tandem accelerator (Pelletron)

placerad vid Institutionen för Kärnfysik. Gruppen utnyttjar ca 35% av den disponibla acceleratortiden eller något över 1000 h om året. Den befintliga acceleratoren är dimensionerad för forsknings- och utvecklingsarbete och är egentligen alltför avancerad för rutinanalyser. Analysunderlaget för ytterligare en accelerator, dedicerad enbart för PIXE-analys, har ännu ej bedömts som tillräckligt, speciellt som tid finns vid befintlig accelerator. Vid acceleratoren förfogar PIXE-gruppen över ett strålrör. Eftersom flera olika aktiviteter pågår vid strålröret måste uppställningen ideligen ändras. Detta medför extra arbete med omställningar, justeringar och tester för att undvika att fel uppstår p g a ändrade systemparametrar.

I uppställningen för rutinanalyser ingår en kammare förberedd för att vara en prototyp för en högt automatiserad analysutrustning. Sålunda kan en hel serie prov (mindre än 38) av enhetlig typ analyseras automatiskt så att röntgenspektra lagras på magnetband eller skivminne. Spektra kan sedan analyseras med ett tillförlitligt datorprogram, HEX (ref 2-G,2-H), så att resultatet trycks ut i lämplig enhet med önskad normering (t ex koncentration i luft i enheten mg/m³).

Samtidig gammaanalys för lättare element kan göras (ref 2-I). Vidare är uppställningen väl kalibrerad och testad m a p noggrannhet, precision och långtidsstabilitet (ref 2-J). I ref 2-A ges en utförlig beskrivning av PIXE-uppställningen och PIXE-rutinerna i Lund.

2.4 Framtida möjligheter

PIXE-uppställningen i Lund kan automatiseras i betydligt högre grad än vad som är fallet idag. Sålunda bör kollimatorer och absorbatorer kunna väljas via mikrodator. Mikrodatorn bör också kunna övervaka och reglera datainsamlingshastighet samt direkt skicka över spektra till centraldatorn för analys on-line och sedan ta emot resultat, allt utan inblandning från operatören. Vidare kan rutinerna för analys av lättare element byggas ut och förfinas.

För optimalt val av partikelenergi och -slag samt av material för provsubstrat pågår ett projekt (NFR 7487-103) i vilket systematiska studier av hur bakgrundsstrålningen i PIXE-spektra beror av ovanstående parametrar samt av hur vinkelfördelningen av denna komponent ter sig. En särskild

bestrålningsskammare har konstruerats för detta projekt.

Om behov uppkommer kan även möjligheten att analysera små prov utvecklas. F.n. är nedre gränsen 10-25 μm . Denna gräns kan minskas ner mot 1 μm .

I vilken grad dessa möjligheter kommer att tillvaratagas i Lund beror framför allt på efterfrågan av analyser samt tillgång på intresserad PIXE-expertis. Efterfrågan är i stigande och tillgången på intresserad PIXE-expertis är f.n. god. Om analysvolymen stiger vore det önskvärt med kompatibla system på nära håll t.ex. vid PIXE-laboratorier i Danmark och Finland. Vid informella diskussioner med företrädare för dessa laboratorier har intresse för sådana lösningar aviserats från alla parter.

3. AEROSOLLABORATORIET

3.1 Inledning

3.2 Utrustning

3.3 Metodik för mätning av Cr-III och Cr-VI

3.4 Kalibrering och modifiering av impaktorer

3.5 Bärbar tvåfraktionsinsamlare med hög tidsupplösning

3.6 Radon

3.7 Framtida uppgifter

3.1 Inledning

Kunskaper om aerosolers uppträdande är mycket viktiga för bedrivandet av ett optimalt arbetsmiljöarbete. Partikelstorlek och partikelform har betydelse för partiklarnas transport, avskiljning i filter, deposition i andningsvägar, förmåga att fungera som bärare av toxiska gaser och förmåga att fånga in fria joner. Den kemiska sammansättningen har vidare betydelse för partiklarnas hygroskopicitet och toxicitet.

Vid eliminationstekniskt arbete - t ex vid diskussion om återluftsystem, vid provinsamling, vid epidemiologiska och toxikologiska studier - är gedigna aerosolkunskaper väsentliga.

Bedömning av hälsoeffekter från radon t ex i gruvmiljö är beroende av

förekomster och karaktär av aerosoler i luften eftersom de s k radondöttrarna, som bildas då radon sönderfaller, utgöres av "fria" joner och samverkar med partiklarna i aerosolen t ex genom att deponeras på partikelytorna. Depositionen i luftvägarna beror av om radondöttrarna inandas som fria joner eller sittande på partiklar.

Ett annat viktigt problemområde inom vissa arbetsmiljöer är förekomst av en aerosol med levande material t ex svampsporer och bakterier, vilket vid inandning kan utlösa allergiska reaktioner eller överföra sjukdomar.

3.2 Utrustning

För att möjliggöra en seriös verksamhet omkring aerosoler t ex utveckling av insamlingsapparaten fordras tillgång på en god basutrustning av instrument för karakterisering och generering av aerosoler. I samband med olika tillämpningsprojekt och vid ansökningstillfällen avseende dyrbar vetenskaplig utrustning (FRN) har således lämpliga instrument anförskaffats.

3.2.1 Generering av aerosoler

För produktion av testaerosoler t ex i samband med effektivitetstester av nyutvecklade insamlingsutrustningar används en s k collision nebulizer (TSI 3076) för att spraya lösningar av t ex metallsalt och en evaporation/condensationsgenerator (TSI 3072) för framställning av oljeaerosoler (DOP m fl). För produktion av mycket monodispersa partiklar under 1 μm i diameter utnyttjas en electrostatic classifier (ESC, TSI 3071) som delar upp partiklarna efter deras rörlighet i ett elektriskt fält, elektriska mobilitet, som är beroende av deras storlek. En relativt monodispers primäraerosol produceras och får passera ESC:n varvid aerosol i ett mycket smalt partikelstorleksintervall kan väljas ut och passera ut ur apparaten.

För aerosoler med partiklar över 1 μm i diameter används en vibrating orifice (Berglund-Liu) generator (TSI 3050) som kan producera mycket monodispersa aerosoler av organiska lösningar eller saltlösningar.

3.2.2 Insamlingsutrustning

En hel arsenal instrument används för insamling och bestämning av koncentration, kemisk sammansättning och partikelstorleksfördelning.

För submikrona partiklar används en electrical aerosol analyzer (EAA, TSI 3030) med liknande funktion som tidigare beskriven ESC. En mätcykel åstadkommer att andelen partiklar större än vissa bestämda diametrar kan registreras så att en kumulativ partikelstorleksfördelning erhålles. Mätproceduren styrs och övervakas och resultat registreras av en mikrodator, så att automatisk registrering kan göras under lång tid utan manuellt ingripande.

En stor mängd olika filtertyper och filterutrustningar används för gravimetrisk och/eller kemisk analys. Föravskiljning av den icke-respirabla fraktionen sker med minicykloner (Casella). För bestämning av den aerodynamiska storleken utnyttjas bl a kaskadimpaktorer (ca 15 st) som med hjälp av ett antal seriekopplade cirkulära munstycken av avtagande diameter och insamlingsplattor placerade vinkelrätt mot luftströmmen efter varje munstycke kan samla in partiklar i olika avtagande storleksfraktioner då aerosol suges genom kaskadimpaktorn med en pump. Utvärdering göres normalt med PIXE-analys av varje storleksfraktion.

För direktregistrering resp räkning av enstaka partiklar finns endast ett enkelt optiskt instrument som utnyttjar ljusspridning mot partiklarna. En fördel av att ingå i en kärnfysikinstitution är tillgången på s k mångkanalanalyser vilka användes för upptagning av partikelstorleksspektra.

3.3 Metodik för mätning av Cr-III resp Cr-VI

Vid analys av aerosoler producerade vid bearbetning av rostfritt stål, t.ex. svetsning eller termisk sprutning, föreligger ett behov att utöver grundämnessammansättningen också bestämma i vilket oxidationstal Cr föreligger eftersom toxicitet är direkt beroende av detta. En särskild teknik lämplig för aerosolprov har därför utvecklats (ref. 3-A) och den innefattar en kombination av PIXE-metoden, av spektrofotometrisk metod för

bestämning av lösligt Cr-VI (DPC), ESCA-teknik för bestämning av förhållandet mellan Cr-III och Cr-VI på partikelytorna samt studier av partiklarnas form och storlek med transmissionselektronmikroskop. Metodiken fungerar bra och genom att utnyttja den för analys av aerosoler vars partiklar består av mycket små primärpartiklar vilka agglomererat, kan resultat erhållas vilka är representativa för en stor andel av massan av nämnda aerosoler. Tekniken har tillämpats inom två ASF-projekt (se ref 4-A och 4-F) med intressanta resultat som följd.

3.4 Kalibrering och modifiering av kaskadimpaktorer.

För att undersöka och kalibrera den typ av kaskadimpaktor vi normalt använder, utöver de kalibreringar som tidigare gjorts i samband med utvecklingen av impaktorn, pågår ett projekt i samarbete med Statens Miljömedicinska laboratorium (ref 3-B) för att producera monodispersa aerosoler och med mikroskop kontrollera deras avskiljning i impaktorn. Arbetet är tidsödande och projektet är ännu inte helt slutfört.

Vid användning av kaskadimpaktorerna för bestämning av storleksfördelningen i den atmosfäriska aerosolen uppstår endast sällan ett problem med överbelastade insamlingssteg. Övergång till industriell miljö medför emellertid, en ökning av masskoncentrationen med 3 till 4 storleksordningar. Som resultat fås ibland, även för mycket korta insamlingsintervall (<10 sek), en överbelastning av vissa steg. Sålunda genomfördes en modifiering av dessa så att insamlingsplattan roterar excentriskt under insamling varvid partiklarna deponeras i en ring med mycket större area än den tidigare fläcken (ref 3-C). Insamlingskaraktistiken förbättrades avsevärt och den modifierade versionen har sedermera även utnyttjats för insamling utomhus.

3.5 Bärbar tvåfraktionsinsamlare med hög tidsupplösning.

Inom ramen för ett slutfört och ett pågående ASF-proj (ref 3-D, 3-E) utvecklas en personburen aerosolinsamlare som delar upp aerosoler i två storleksfraktioner och som möjliggör insamlingstider ner till 5 min med automatiskt provbyte vid slutförd insamling. Ett impaktionsmunstycke deponerar partiklar över en viss aerodynamisk diameter (t.ex. 5 μm) på ett

insamlingssubstrat och därefter går resterande aerosol vidare till nästa insamling som sker genom filtrering i ett s.k. Nucleporefilter på vilket återstående aerosol fastnar med hög effektivitet (>90% för alla partikelstorlekar). Apparaten skiftar prov automatiskt och försörjes med en personburen batteridrivna pump. Insamlaren väger i nuvarande version c:a 300 g och nödvändig elektronik som kan placeras tillsammans med pumpen i bältet på försökspersonen kommer att väga mindre än 200 g. PIXE-metodens höga känslighet och snabbhet medför att vid insamling i 15-minutersintervall (med flöde <0.5 l/min) blir det möjligt att bestämma koncentrationer i luften, av t.ex. olika toxiska metaller, som kraftigt understiger stipulerade hygieniska gränsvärden, trots att bestrålningstider av enbart c:a 10 sek. används under analysen. Denna mycket snabba analys medför att kostnaderna för utvärdering av denna typ av prov blir jämförelsevis mycket låga (en grov uppskattning ger vid handen att för en hel arbetsdag och en person blir kostnaderna för 2x32 prov lägre än 500 kr räknat i 1981 års penningvärde).

Insamlaren uppvisar hittills mycket lovande egenskaper och efter genomförandet av pågående projekt ska kunskap föreligga om vilken potential utrustningen kan ha för t.ex. epidemiologiska undersökningar och övervakning av arbetsmiljöer.

En större, stationär insamlare arbetande enl. samma princip utvecklas också. Tanken är att den skall kunna samla in c:a 2x200 prov automatiskt genom styrning och övervakning med mikrodataor.

3.6 Radon.

Exponering för radon och dess dotterprodukter utgör ett problem i såväl arbetsmiljö (framför allt gruvor) som i våra bostäder. Som tidigare nämnts beror depositionen av radondöttrar och därmed dosen till olika delar av luftvägarna inte enbart på koncentrationen radondöttrar utan också på karaktären av aerosolen i lokalen. Flera olika epidemiologiska studier har utförts på gruvarbetare. Om resultaten från dessa studier även kan vara tillämpligt på bostadsmiljön är oklart bl.a. på grund av skillnader i aerosolens sammansättning och storleksfördelning. I gruvmiljö kan dessutom förekomma relativt höga halter av potentiellt toxiska gaser.

I ett projekt (samarbete mellan inst. för Hygien, Kärnfysik och Radiofysik) finansierat av Bygghälsöversynsrådet kommer rutiner för bestämning av radondöttrarnas fördelning på olika aerosolpartiklar att utvecklas. Partikelstorleksfördelning kommer att mätas i ett tiotal olika bostäder och resultaten kommer att jämföras med resultat från gruvmiljöer. Andra viktiga parametrar för att beräkna dosen till olika delar av andningsapparaten är relativa fuktighetens inverkan på partikelstorleksfördelningen. Detta ryms emellertid inte i första delen av projektet. En annan viktig parameter är sambandet mellan aerosolfördelningen i rummet och andelen radondöttrar som ej är bunden till olika partiklar (den s.k. fria fraktionen).

3.7. Framtida uppgifter.

Utvecklingen av den bärbara, kontinuerliga provtagaren bör leda fram till ett antal användbara enheter vilka kan utnyttjas t.ex. inom övervakning av speciellt utsatta industrimiljön. Då bör också strategin för insamling och efterföljande utvärdering utvecklas så ekonomiskt och resultatmässigt slagkraftiga kombinationen erhålles. I ett längre tidsperspektiv skulle detta kunna medföra möjligheter till ett rutinmässigt utnyttjande av metodiken förutsatt att analysmöjligheterna samtidigt utökas och rationaliseras. Särskilt inom epidemiologiska projekt skulle en sådan kombination göra det ekonomiskt förvarbart med ytterst noggranna kartläggningar av arbetsmiljön.

För att realisera ett sådant utnyttjande av den bärbara provtagaren erfordras funktionstester i laboratorium och under praktiskt bruk på arbetsplatser. Vidare är det av stor vikt att samarbete kan ske med tillsynsmyndigheten (ASS) och med internationella arbetsmiljömyndigheter och institutioner t.ex. i UK och USA. Det skulle kunna öka underlaget och standardiseringsmöjligheten samt ge åtskilliga synpunkter och ideer för dess vidare utveckling och för utveckling av liknande utrustning där PIXE-metodens speciella fördelar kan utnyttjas i kombination med aerosolinsamlingsteknik.

4 Karakterisering av partikulära luftföroreningar.

- 4.1 Karakterisering av svetsrök
- 4.2 Krom- och nickelemission vid termisk sprutning
- 4.3 Framtida utveckling

4.1 Karakterisering av svetsrök

Inom ramen för ett större ASF-projekt (ASF 74/109) har vi gjort ingående karakterisering av svetsrök från ett antal elektriska bågssvetsmetoder. En laboratorieuppställning utvecklades för insamling av svetsrök för att bestämma : totalmängd, elementsammansättning, partikelstorleksfördelning och i aktuella fall oxidationstalet hos krom i röken. Tretton olika metoder undersöktes och svetsparametrar som ström, spänning, material och i förekommande fall skyddsgassammansättningen varierades för systematisk undersökning av deras inverkan på svetsröksproduktionen.

Resultaten av denna mycket omfattande undersökning (inalles mer än 3000 multielementanalyser, se ref 4-A, 4-B, 4-C, 4-D) tyder på att stora skillnader föreligger mellan olika svetsmetoder vad gäller mängd producerad rök och dess kemiska sammansättning. Den sistnämnda återspeglar framförallt elektrodmateriallets sammansättning fast med ändrade förhållanden mellan ingående element. En tydlig inverkan på svetsrökens sammansättning och mängd erhålles av svetsparametrarna, särskilt spänningen, och i förekommande fall skyddsgasens sammansättning. Vid svetsning i rostfritt stål med belagd elektrod bildas huvudsakligen saxvärt krom i svetsröken, medan skyddsgassvetsning ger trevärt. Partikelstorleken är omkring $0.5 \mu\text{m}$ (aerodynamisk diameter) med endast smärre variationer mellan metoder och inom metoder p.g.a. variationer av svetsparameterna. Ett undantag utgöres av svetsning med icke-smältande volframelektrod där partiklarna är klart mindre än $0.25 \mu\text{m}$ i diameter.

Undersökning har gett en god bild av vanligt förekommande svetsmetoder och också pekat på eventuella praktiska åtgärder för att minska exponering för toxiska ämnen i samband med svetsning. Vidare utgör detta resultatmaterial eventuellt tillsammans med ett utökat sådant en möjlighet t.ex. i samband med epidemiologiska studier att bilda sig en uppfattning av exponeringsbilden inom en viss svetsindustriell miljö.

Ett annat projekt inom svetsrökskaraktärisering behandlar inverkan av svetsparametrar och skyddsgasammansättning med icke-smältande volframelektrod i rostfritt stål. (ref 4-E) Resultaten från denna visar att totalmängden producerad aerosol ökar kraftigt då svetsning utföres i en skyddsgasatmosfär av helium jämfört med argon eller argon/väte blandning. Det produceras i samband härmed också en betydligt ökad koncentration av krom och nickel med kända potentiella hälsoeffekter. Då en blandning av argon/väte används uppnås den lägsta rökproduktionen per mängd producerad svetsfog. För de fall plåten har förstärkt korrosionskydd t.ex. i form av en primer beror koncentrationen i röken av ämnen som zink, på diametern av den använda ljusbågen eftersom en bredare ljusbåge skapar en bredare upphettad zon på materialytan som kan emittera lättflyktiga ämnen.

Resultaten från denna undersökning är intressanta och det vore önskvärt att ytterligare studera de mekanismer som styr rökbildningen för att skapa underlag för optimalt parameterintervall.

4.3 Krom- och nickelemission vid termisk sprutning.

Termisk sprutning är en ytbeläggningsmetod där metaller, metallföreningar eller keramer smälts och sprutas på ytor för att öka dessas motståndskraft. I ett projekt med stöd från Arbetarskyddsfonden har partikulära luftföroreningar emitterade vid fem olika sprutmetoder studerats (ref 4-F, 4-G). I samtliga fall används krom- och nickelhaltiga material vid sprutningen. I projektet har aerosolpartiklarnas storlek, form och metallsammansättning bestämts. Partikelstorleksfördelningen har erhållits genom uppsamling av röken med en kaskadimpaktor med efterföljande PIXE-analys av de olika storleksfraktionerna. Information om partiklarnas form har erhållits genom studier i elektronmikroskop och rökens metallinnehåll har bestämts med PIXE-metoden. Som påpekats tidigare är andelen sexvärt krom en annan viktig parameter för att kunna göra en hygienisk bedömning av röken. Denna har undersökts med hjälp av en kombination av PIXE-, DPC-, ESCA- och TEM-analys (se ref 3-A).

Den respirabla delen av röken (partikeldiameter mindre än 5 μm) utgjorde mellan 40-90% av den totala rökmängden. Större delen av den respirabla massan återfanns på partiklar med diameter mindre än 0.25 μm . Aerosolens

relativa metallsammansättning överensstämde med tillsatsmaterialets och var oberoende av partikelstorlek. Från studier med elektronmikroskop kunde konstateras att små partiklar ofta var sammansatta av mindre sfäriska partiklar som bildade kedjor. Större partiklar var ofta sfäriska.

Upp till 70% av kromet på partikelytorna var sexvärt. Efter tvättning av de insamlade partiklarna sjönk andelen krom på partikelytorna kraftigt. Det analyserade sexvärda kromet fanns huvudsakligen i den respirabla fraktionen.

För att undersöka möjligheterna till biologisk provtagning när det gäller krom gjordes inom projektet en enkel förstudie där mängden krom bestämdes i urin med hjälp av flamlös atomabsorptionsspektrofotometri. Förstudien antyder att ett samband mellan koncentrationen lösligt krom i luften och halten av krom i urin existerar.

4.3 Framtida utveckling.

Utöver vad som redan påpekats i avsnitt 4 är ökade kunskaper och erfarenheter inom aerosolfysik en mycket viktig komponent i en utökad kartläggning och karakterisering av partikulära luftföroreningar i arbetsmiljön. Uttnyttjandet av funktionsdugliga och kostnadseffektiva kombinationer av insamlare och analysmetoder gör det ekonomiskt möjligt att trots till synes krympande ekonomiska resurser fortsatt satsa på stora och genomgripande projekt inom detta område. Uttestning av förenklade karakteriseringsmetoders användbarhet bör också kunna underlättas av t.ex. insamlare som den beskrivna personburna modellen. På så sätt skulle eventuellt billigare metodik kunna utvecklas för en framtida övervakning av industrimiljön.

En fortsättning av de systematiska karakteriseringsprojekten skulle kunna genomföras för att utöka och stärka baskunskaperna om aerosoler som produceras i arbetsmiljön.

5. Deposition via andningsvägarna.

Exponering för svetsrök är en vanlig förekomst i svenska arbetsmiljöer. Eftersom exponeringen kan vara hög och innehålla komponenter med kända och okända dos-effekt- och dos-responssamband är det viktigt att ha en god förståelse för komponenternas kinetik och dynamik i människokroppen. Ett viktigt led i ovanstående samband är depositionen i respirationssystemet. Det finns visserligen ganska tillförlitliga depositionsmodeller, men svetsrök utgör en komplicerad aerosol varför modellerna är svåra att tillämpa. Svetsrökspartiklarna är oftast uppbyggda i långa mer eller mindre grenade och vindlade kedjor. Formen påverkar depositionen och uppförandet efter depositionen. Dessutom är en del av komponenterna i röken vattenlösliga vilket medför att partiklarna kan växa i den höga luftfuktighet som råder i luftvägarna. Elektrostatiska krafter har också betydelse för depositionen och vid svetsning finns förutsättningar för att partiklarna ska bli laddade. En ytterligare komplikation är att svetsröken i vissa fall kan verka bronkokonstringerande, vilket också påverkar depositions bilden.

I respirationssystemet sker således både tillväxt och deposition. Genom att studera tillväxt av svetsrök i en kammare med variabel luftfuktighet och temperatur har vi slupit inverkan av deposition. Tillväxt har på så vis studerats för rök från två typer av belagda elektroder, från MIG-svetsning och från MAG-svetsning. För de belagda elektroderna erhålles en signifikant tillväxt. SEM-studier visade att kedjorna från samtliga undersökta metoder ändrade form och blev mera centrerade. Detta måste innebära att den av många befarade parallellen med andra fibrer (t.ex. asbest) vad gäller dynamik kan avskrivas.

Redan i ett arbete från 1976 (Ref 5-A) visade vi att det med PIXE-metodens hjälp var möjligt att, även med kort exponering för icke-höga koncentrationer av svetsrök, studera elementsammansättningen hos partiklar i olika storleksfraktioner i inhaled och exhaled luft. Vid institutionen för Hygien har f.f.a. Bertil Rudell förfinat metodiken för depositionsstudier. Sedan har han bestämt depositionen av svetsrök (från svetsning med belagd elektrod, OK 48.00) för 5 försökspersoner och funnit värden mellan 55 och 73% vilket är högre värden än man kan förvänta om hänsyn ej tages till tillväxt. En annan intressant iakttagelse var också att den exhaled aerosolen var utarmad på partiklar som var mindre än $0.25 \mu\text{m}$ och större än $1 \mu\text{m}$.

Utvärdering av detta projekt pågår. Arbetet att studera svetsrökspartiklars uppförande speciellt vid hög luftfuktighet fortsättes bl.a genom ett intressant ASF-projekt vid FOA i Umeå (doc. Mats Ahlberg).

6. Biologiska/medicinska prov.

- 6.1 Egenskaper hos PIXE-metoden av betydelse för analys av biol/med prov.
- 6.2 Angelägna områden där PIXE-metoden kan lämna viktiga bidrag.
- 6.3 Utförda och pågående projekt.
- 6.4 Optimering av analysmetoden för biologiskt material.

6.1 Egenskaper hos PIXE-metoden av betydelse för analys av biol/med prov.

PIXE-metoden medger säkra och ej kostsamma multielementanalyser av µg-mg-prov vilket öppnar möjligheter till toxikologiska forskningsprojekt som kräver biopsier och autopsier från strukturer av vilka man endast har begränsad tillgång. En svårighet är ibland att få analys av representativa prov. En annan nackdel är att detektionsgränsen mätt i koncentration ej är bättre än 0.1-10 ppm. Efter förkoncentrationen är detta emellertid ofta tillräckligt. De låga kostnaderna gör det ekonomiskt realistiskt att undersöka mycket stora material, t.ex. inom ramen för epidemiologiska studier.

En annan egenskap hos PIXE-metoden är att partikelstrålen kan fokuseras/kollimeras till ett litet område, med speciell teknik ner mot 1x1 µm². Detta innebär att man kan studera elementfördelningen ner till cellnivå/subcellnivå.

6.2 Angelägna områden där PIXE-metoden kan lämna viktiga bidrag.

Vid studier av hälsoeffekten p.g.a. exponering för arbetsmiljöaerosoler är det intressant att följa de toxiska substanserna på deras väg genom (olika kompartments) och ut ur kroppen. Möjligheten att göra multielementanalys av små prov kan utnyttjas vid analys av t.ex. olika proteinfractioner, olika

celler, olika ultracentrifugfraktioner osv. osv. Multielementegenskaperna medför dessutom att synergistiska och antagonistiska effekter kan studeras.

Resultat från toxikologiska studier av detta slag är viktiga för att få fram dos-effekt samband. Förståelse för toxiska elements kinetik och dynamik ökar också förutsättningarna för att man ska finna goda medier för biologisk provtagning, med resultat som bättre korrelerar till hälsoeffekten än area- och exponeringsmätningar. Provtagnings- och analyskostnader för övervakningsprogram kan kanske också hållas nere. Med hjälp av expertis från t.ex. patologi, toxikologi, yrkesmedicin, hygien mm. kan hypotesen om korrelationer mellan exponering - koncentration i kompartiment och hälsoeffekter/sjukdom ställas upp. Med PIXE-metodens kapacitet och egenskaper kan i många fall sådana hypoteser testas.

6.3 Utförda och pågående projekt.

Plasmaanalyser: För kombinationen frystorkning - lågtemperaturinaskning (ref 6-A) är detektionsgränsen ännu efter förkoncentration för flera intressanta element klart högre än de naturliga förekomsterna men trots detta kan PIXE-metoden vara en lämplig analysmetod om ett stort antal prov skall analyseras m.a.p. element som Cu, Zn m.fl., eftersom analyskostnaderna kan hållas låga. Utvecklingsarbete så att lätta element som Na, Mg, Al m.fl. kan analyseras rutinmässigt är angeläget och pågår f.n..

För de flesta applikationer är analys av totalplasma en ganska grov metod eftersom det är känt att det har stor betydelse om ett ämne är fritt i blodet, bundet till speciella proteinfraktioner, blodkroppar eller annat. Genom att kombinera känd separationsteknik (ev. krävs viss utveckling) och PIXE-metoden bör mera detaljerad och värdefull information erhållas. I ASF-projekt D-nr 81-0150 har vi gjort försök att använda plasmaelektrofores för separation av proteinfraktioner. Variationer har iakttagits men då elektroforesen sker vid pH skiljt från 7.4 kommer en del element att frigöras från sitt protein och våra resultat blir ej representativa. Försök ska nu påbörjas med annan teknik för proteinfraktionering som endast i obetydlig grad ändrar bindningsförhållandena.

Speciella försök att studera proteinet metallothionein planeras dessutom.

Tillsammans med Per Camner och Margot Lundborg vid Statens Miljömedicinska laboratorium utreds (med Per Camner som projektledare) möjligheterna att gemensamt studera huruvida lungmakrofagerna har någon avgörande betydelse för lösligheten av olika komponenter deponerade i lungorna.

Ett annat intressant område är håranalyser. Hår växer ungefär 1 mm per vecka och genom att studera hur koncentrationen av olika element varierar utefter hårstrå läser man av en "färdskrivare" som talar om hur exponeringen varierat. Sannolikt är tolkningen något mera komplicerad men undersökningar finns som visar att samband mellan exponering och koncentration i hår existerar. Metodik för kvantifiering har utvecklats och publicering planeras (ref 6-B). Vidare pågår försök att med hjälp av PIXE-metoden skilja på ytlig och central fördelning av grundämnen i hår. Denna del av projektet drivs även med tanke på exponering i yttre miljö (t.ex. kvicksilver från fisk).

6.4 Optimering av analysmetod för biologiskt material.

(se även under 2.4)

Efter prov-behandling måste provmaterialet monteras på lämpligt sätt inför bestrålningen under PIXE-analysen. För att välja material och provorientering så att optimala detektionsgränser uppnås genomföres f.n. en studie av produktion av bakgrundsstrålning i PIXE-spektrum. I denna undersöks även inverkan från den exciterade partikelns massa och energi samt i vilken vinkel i förhållande till partikelstrålen som detektionen utföres bäst. Möjligheten att vid tjocka prov (pellets) pressade av pulveriserat behandlat material eller av direkt frystorkade vävnadsbitar, utnyttja den kontinuerliga bakgrundsstrålningskomponenten för att bestämma koncentrationen av de ingående elementen skall också studeras.

7. DISKUSSION

Med dagens avancerade teknologi exponeras människan för ett stort antal kemiska substanser. Det finns flera olika uppskattningar av hur mycket denna exponering bidrar till ohälsa, men det torde inte råda något tvivel om att bidraget är signifikant. I arbetet att minska ohälsa förorsakad av partikulära luftföroreningar är arbetsmiljön av väsentligt intresse eftersom det av flera skäl ofta är mindre komplicerat att konstatera negativa hälsoeffekter och eliminera deras orsaker i denna. För både konstaterandet och eliminerandet krävs emellertid kunskaper.

Som framgått av tidigare kapitel arbetar vi inom programmet för Teknisk Hygien med unik metodik i flera led av kedjan

generering--spridning--deposition--kinetik i kroppen--hälsoeffekter (1)

P g a PIXE-metodikens egenskaper kan vi för de olika leden studera tidsvariationer och inverkan av olika parametrar som partikelstorlek och elementsammansättning.

När sambanden är någorlunda väl kända kan man genom att starta från höger i kedjan (1) och gå mot vänster söka de effektivaste vägarna för eliminationstekniska åtgärder.

För att kunna bedriva bra FoU över ett så brett område som demonstreras av kedjan (1) krävs ett väl fungerande samarbetsnät långt utanför institutionsgränserna. För den högra delen av kedjan (1) samarbetar vi och hoppas vi på mera samarbete med medicinska discipliner. För bl a den eliminationstekniska delen samarbetar vi med Energi- och Miljöcentrum vid Högskolan i Jönköping.

Genom vårt breda engagemang från källa till effekt och tillbaka till eliminationstekniska åtgärder, vår unika analysmetod och vårt goda aerosollaboratorium hoppas vi kunna bidra till ökad förståelse för arbetsmiljöns effekter på hälsan och framförallt till förbättrade arbetsmiljöförhållanden.

Referenser.

- 2-A PIXE-metoden för analys av arbetsmiljöaerosoler G. Johansson, K. Malmqvist, M. Bohgard, L-E Carlsson och R. Akselsson.
LUTFD2/TFKF - 3022/1-37 (1980)
Del 1 av slutrapport för ASF-projektet med Dnr 74/109.
- 2-B Analytical Application of Particle Induced X-Ray Emission.
S.A.E. Johansson and T.B. Johansson
Nucl. Instr. and Meth. 137 (1976) 473
- 2-C X-Ray Analysis, Elemental Trace Analysis of the 10^{-12} g level
T.B. Johansson, R. Akselsson och S.A.E. Johansson Nucl. Instr. and Meth. 84 (1970) 141
- 2-D "International Conference on Particle Induced X-Ray Emission and its Analytical Applications", Proceedings från den 1:a
PIXE-konferensen i Lund 1976, Nucl. Instr. and Meth. 142 (1977)
- 2-E "Second International Conference on Particle Induced X-Ray Emission and its Analytical Applications", Proceedings från den 2:a
PIXE-konferensen i Lund 1980, Nucl. Instr. and Meth. 181 (1981)
- 2-F PIXE in 1980: Summary of the Second International Conference on Particle Induced X-Ray Emission and its Analytical Applications,
K.R. Akselsson, IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-28, No 2, (1981) 1370.
- 2-G REX - A Computer Programme för PIXE Analysis
H.C. Kaufmann, K.R. Akselsson, W.J. Courtney, Nucl. Inst. and Meth. 142 (1977) 251
- 2-H Modifications of the HEX Programme for Fast Automatic Resolution of PIXE Spectra - G.I. Johansson, Ingår i doktorsavhandling: Proton Induced X-Ray Emission - mass calibration, computer analysis and applications to work environmental aerosols (G.I. Johansson).

- 2-I A Facility for Multielemental Analysis by PIXE and the $^{19}\text{F}(p,\alpha\gamma)^{16}\text{O}$ Reaction - K.G. Malmqvist, G.I. Johansson and K.R. Akselsson, ingår i doktorsavhandling: Proton Induced X-Ray Emission - experimental arrangement and applications to work environmental aerosols (K.G. Malmqvist).
- 2-J Calibration and Long-Term Stability of a PIXE Set-up, G.I. Johansson, J. Pallon, K.G. Malmqvist and K.R. Akselsson, Nucl. Instr. and Meth. 181 (1981) 377.
- 3-A An Analytical Procedure for Determining Chromium in Samples of Airborne Dust, M. Bohgard, B.L. Jangida and K.R. Akselsson; Ann. Occup. Hyg. 22 (1979) 241.
- 3-B H.C. Hansson and K. Philipsson, skall publiceras.
- 3-C K.G. Malmqvist et. al., skall publiceras.
- 3-D Kontinuerlig tvåfraktionsinsamlare för övervakning av partikulära luftföroreningar i arbetsmiljö; M. Bohgard, K. Malmqvist, E. Karlsson, L.-B. Nilsson, P. Jensen, H.-C. Hansson, G.I. Johansson och K. R. Akselsson., slutrapport till ASF för anslag Dnr 79/193 (1981).
- 3-E A Personal Aerosol Sampler with Size Fraction and Time Resolution - M. Bohgard, K.G. Malmqvist, G.I. Johansson and K. R. Akselsson, Presenteras på International Symposium on Aerosols in the Mining and Industrial Work Environment, Minneapolis, Nov. 1981.
- 4-A Luftföroreningar vid svetsning - karakterisering av svetsrök - K.G. Malmqvist, G.I. Johansson, M. Bohgard och K.R. Akselsson; LUTFD2/TFKF-3025/1-113(1980), slutrapport till ASF för projekt Dnr 74/109 (1980).

- 4-B Luftföroreningar vid svetsning - karakterisering av svetsrök - K.G. Malmqvist, G.I. Johansson, M. Bohgard och K.R. Akselsson; Sammanfattning nr 327 i ASF:s rapportserie (1980).
- 4-C Elemental Concentration in Airborne Particles from Welding and metal Spraying Operations - K.G. Malmqvist, G.I. Johansson, M. Bohgard and K.R. Akselsson; Nucl. Instr. and Meth. 181 (1981) 465.
- 4-D Characteristics of Welding Fumes - G.I. Johansson, K.G. Malmqvist, M. Bohgard and K.R. Akselsson, LUTFD2/TFKF-3030 (1981)(se även ref 2-H och 2-I).
- 4-E Karakterisering av aerosoler från olika typer av TIG-svetsning med hjälp av PIXE-metoden, B. Martinsson, Examensarbete Inst. för kärnfysik och Avd. för svetsteknologi.
- 4-F Krom- och nickemission vid termisk sprutning, M. Bohgard, H. Welinder och K.R. Akselsson, LUTFD/TFKF-3024/1-30 (1980), slutrapport till ASF för projekt Dnr 78/138 (1980).
- 4-G Krom- och nickemission vid termisk sprutning, M. Bohgard, H. Welinder och K.R. Akselsson; sammanfattning nr 304 i ASF:s rapportserie (1980).
- 5-A Particle Size Distribution and Human Respiratory Deposition of Trace Metals in Indoor Work Environments, K.R. Akselsson, G.G. Desaeleer, T.B. Johansson and J.W. Winchester, Ann. Occup. Hyg. 19 (1976) 225.
- 6-A Evaluation of Low Temperature Ashing of Biological Materials as a Preconcentration Method for PIXE Analysis, J. Pallon and K.G. Malmqvist, Nucl. Instr. and Meth. 181 (1981) 71.
- 6-B Li Hung-Kou, skall publiceras.

Appendix: Programmet för Teknisk Hygien.

PIXE-gruppen har växt upp kring PIXE-metoden vid inst. f. kärnfysik. Verksamheten har varit att dels utveckla PIXE-metoden, dels tillämpa metoder på angelägna problemställningar. En stor del av den tillämpade verksamheten har inriktats på projekt inom miljö- och arbetsmiljöområdena. Samarbete med andra institutioner har skett i hög grad och några projekt har även formellt utförts på annan institution (Hygien). För att ha ett samlande namn på en samarbetande grupp har vi arbetat under namnet Teknisk Hygien. Teknisk Hygien är således ett begrepp och inte en administrativ enhet.

För FoU inom arbetsmiljöområdet har programmet en referensgrupp bestående av:

Harald Frostling, SAF
 Gösta Lindstedt, ASS
 Andrejs Schütz, Yrkesmed. klin. Lunds Lasarett
 Repr. för LO, ej klart

Via referensgruppen kommer en samordning med verksamheten vid Fysiska institutionen, GU/CTH (Eva Selin, Anders Rindby, Mats Öblad) att ske.

PIXE-gruppen vid institutionen för kärnfysik.

Roland Akselsson,	FD, MK, Doc
Mats Bohgard,	CI
Lars-Eric Carlsson,	CI
Hans-Christen Hansson	CI
Eva Marta Johansson,	CI
Gerd Johansson,	TeknD
Sven Johansson,	CI, FD, Professor
Hans Lannefors,	CI
Hung-Kou Li,	doktorand, kinesisk gästforskare
Klas Malmqvist,	TeknD
Bengt Martinsson,	examensarbetare

Pirjo Pakarinen,
Jan Pallon,

FK, gästforskare från Finland
CI

Ann-Kristin Ekholm,
Preben Jensen,
Erik Karlsson,
Lars-Berne Nilsson,
Stefan Nyman,

laboratorieingenjör
l:e instrumentmakare
forskningsingenjör
instrumentmakare
forskningassistent

Samarbetspartners.Institutionen för hygien.

Roland Akselsson,	se ovan
Maths Berlin,	MD, professor
Gerd Johansson,	se ovan
Tord Kjellström,	CI, MD
Bertil Rudell,	CI, med. stud. Umeå

Avdelningen för svetsteknologi.

Folke Brundin,	TeknL, univ.lekt.
Alex Simonsson,	institutionstekniker

Yrkesmedicinska kliniken, Lunds Lasarett.

Andrejs Schütz,	FK, 1:e yrkeshygieniker
Hans Welinder,	FL, 1:e yrkeshygieniker

Högskolan i Jönköping.

Roland Akselsson,	e. univ.lekt., se ovan
Margareta Bernås,	FK, universitetsadjunkt
Yngve Glennow,	FD, doc, rektor
Dan Holmqvist,	TeknM, universitetsadjunkt

Statens Miljömedicinska Laboratorium.

Per Camner,	MD, doc
Margot Lundborg,	forskningsingenjör
Klas Philipsson,	FD

Fysikalisk biologi, Uppsala.

Ulf Lindh	FD
-----------	----