

1997:6

Principer och metoder för provtagning och analys av ämnen på listan över hygieniska gränsvärden

Jan-Olof Levin (red)

ARBETE OCH HÄLSA VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 91-7045-411-6 ISSN 0346-7821



Arbetslivsinstitutet

Arbetslivsinstitutet

Centrum för arbetslivsforskning

Arbetslivsinstitutet är nationellt centrum för forskning och utveckling inom arbetsmiljö, arbetsliv och arbetsmarknad. Kunskapsuppbyggnad och kunskapsanvändning genom utbildning, information och dokumentation samt internationellt samarbete är andra viktiga uppgifter för institutet.

Kompetens för forskning, utveckling och utbildning finns inom områden som

- arbetsmarknad och arbetsrätt,
- arbetsorganisation, produktionsteknik och psykosocial arbetsmiljö,
- ergonomi,
- arbetsmiljöteknik och belastningsskador,
- arbetsmedicin, allergi, påverkan på nervsystemet,
- kemiska riskfaktorer och toxikologi.

Totalt arbetar omkring 470 personer vid institutet, varav 350 med forskning. Forskning och utbildning sker i samarbete med universitet och högskolor.

ARBETE OCH HÄLSA

Redaktör: Anders Kjellberg

Redaktionskommitté: Anders Colmsjö
och Ewa Wigaeus Hjelm

© Arbetslivsinstitutet & författarna 1997

Arbetslivsinstitutet,
171 84 Solna, Sverige

ISBN 91-7045-411-6

ISSN 0346-7821

Tryckt hos CM Gruppen

Förord

Denna skrift, som redogör för provtagnings- och analysmetoder för ämnen som åsatts gränsvärden i Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse om hygieniska gränsvärden (AFS 1996:2), föreligger nu i sin 8:e upplaga. Sedan första upplagan 1975 har ett stort antal personer vid Arbetarskyddsstyrelsen och Arbetslivsinstitutet lämnat bidrag till arbetet. Föreliggande upplaga har redigerats av en arbetsgrupp från Arbetslivsinstitutet och Arbetarskyddsstyrelsen bestående av Jan-Olof Levin, ordf, Staffan Krantz, Göran Lidén, Birgitta Melin, Claes Trägårdh och Kerstin Wahlberg.

Nya gränsvärden och utvecklingen av bättre provtagnings- och analysmetoder gör att metodlistan fortlöpande revideras. Arbetslivsinstitutet och Arbetarskyddsstyrelsen mottar därför tacksamt kommentarer.

Umeå i april 1997

Jan-Olof Levin

Innehåll

| | Sid | |
|--------|---|----|
| 1 | Kvalitetssäkring av kemiska arbetsmiljömätningar | 1 |
| 2 | Planering av provtagning och utvärdering av resultat vid kemiska arbetsmiljömätningar | 3 |
| 2.1 | Gränsvärdesdefinitioner | 3 |
| 2.2 | Provtagningens representativitet | 4 |
| 2.3 | Definitioner av begrepp | 4 |
| 2.4 | Informationsvärde hos fulltidsprover | 5 |
| 2.5 | Informationsvärdet hos medelvärden av korta deltidsprov | 5 |
| 2.6 | Behandling av mätresultat | 6 |
| 2.7 | Variationen mellan dagar | 6 |
| 3 | Direktvisande mätmetoder för gasformiga ämnen | 8 |
| 3.1 | Instrumentmetoder | 8 |
| 3.1.1 | Detekteringsprinciper | 8 |
| 3.1.2 | Kalibreringsprinciper | 11 |
| 3.2 | Ampullmetoder | 13 |
| 4 | Direktvisande mätmetoder för aerosoler | 15 |
| 5 | Metoder med separata provtagnings- och analyssteg | 18 |
| 5.1 | Volymmätning | 18 |
| 5.2 | Provtagning | 20 |
| 5.2.1 | Direktuppsamling | 21 |
| 5.2.2 | Anrikningsmetoder | 21 |
| 5.3 | Transport och förvaring av prover | 27 |
| 5.4 | Analyser | 29 |
| 5.4.1 | Spektrofotometri | 29 |
| 5.4.2 | Atomabsorption | 30 |
| 5.4.3 | Fluorimetri | 31 |
| 5.4.4 | Röntgenfluorescens | 32 |
| 5.4.5 | Gaskromatografi | 33 |
| 5.4.6 | Vätskekromatografi | 34 |
| 5.4.7 | Isotakofores | 35 |
| 5.4.8 | Masspektrometri | 36 |
| 5.4.9 | Röntgendiffraktometri | 37 |
| 5.4.10 | Mikroskopi | 38 |
| 5.4.11 | Lågtemperaturinaskning | 39 |
| 6 | Metodlista | 39 |
| | Sammanfattning | 65 |
| | Summary | 65 |

1. Kvalitetssäkring av kemiska arbetsmiljömätningar

För att man ska få tillförlitliga resultat från arbetsmiljömätningar måste alla moment av mätningen kvalitetssäkras. Vid kemiska och arbetsmiljömätningar krävs bl a följande:

- En genomtänkt provtagningsstrategi
- Kompetent personal som utför provtagning
- Metoder för provtagning som uppfyller kvalitetskrav
- Analyslaboratorium med dokumenterat kvalitetssystem och analysmetoder som uppfyller kvalitetskrav

F n finns i Sverige inte några krav på att mätningar ska utföras av personal med viss dokumenterad kompetens. Ett system med s k certifiering av mätpersonal är ett sätt att höja mätningars kvalitet.

För mätutrustning och metoder finns Europastandarder som anger minimikrav. Standarderna är frivilliga så länge ingen myndighet föreskriver annat. Standarderna ställer bl a krav på mätmetoders osäkerhet, "overall uncertainty", vilken definieras i standarden. För mätningar mot gränsvärdet ska metodens relativa totala osäkerhet (overall uncertainty) vara $\leq 50\%$ i intervallet 0,1 till 0,5 gånger gränsvärdet och $\leq 30\%$ i intervallet 0,5 till 2 gånger gränsvärdet. *De metoder som refereras i metodlistan i kapitel 6 har inte kontrollerats med avseende på "overall uncertainty" vid aktuellt gränsvärde.*

Inom området arbetsplatsluft finns även standarder som anger krav på och testmetoder för, provtagningspumpar, adsorbentrör, diffusionsprovtagare, analysampuller och direktvisande instrument. En ny standard för partikelstorleksdefinitioner har också utarbetats. Den beskrivs närmare under avsnittet om föravskiljare.

När det gäller ackreditering av arbetsmiljölaboratorier, finns f n inga sådana krav i Sverige.

Litteratur

SS-EN 481, Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles (Arbetsplatsluft - Partikelstorleksfraktioner för mätning av luftburna partiklar)

SS-EN 482, General requirements for the performance of procedures for workplace measurements (Allmänna krav på metoder för mätning av kemiska ämnen i arbetsplatsluft)

SS- EN 689, Workplace atmospheres - Guidance for the assessment of exposure to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy (Arbetsplatsluft - Vägledning för bedömning av exponering genom inandning av kemiska ämnen för jämförelse med gränsvärden och mätstrategi)

SS-EN 838, Workplace atmospheres - Diffusive samplers for the determination of gases or vapours - Requirements and test methods (Arbetsplatsluft -

- Diffusionsprovtagare för bestämning av gaser och ångor - Krav och provningsmetoder)
- EN 1076, Workplace atmospheres - Pumped sorbent tubes for the determination of gases and vapours - Requirements and test methods
- EN 1232, Workplace atmospheres - Pumps for personal sampling of chemical agents - Requirements and test methods
- EN 1231, Workplace atmospheres - Short term detector tube measurement systems - Requirements and test methods
- EN 12411-1, Workplace atmospheres - Electrical apparatus for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gas and vapours - Part 1: General requirements
- EN 12411-2, Workplace atmospheres - Electrical apparatus for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gas and vapours - Part 2: Performance requirements for apparatus used for measuring concentrations in the range of limit values
- EN 12411-3, Workplace atmospheres - Electrical apparatus for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gas and vapours - Part 3: Performance requirements for apparatus used for measuring concentrations well above limit values
- PrEN 1997-01-09. Workplace atmospheres - Guidelines for measurement of airborne microorganisms and endotoxin.

2. Planering av provtagning och utvärdering av resultat vid kemiska arbetsmiljömätningar

Syftet med provtagning av luftföroreningar på arbetsplatser är antingen exponeringsmätning (för kontroll av att gränsvärden efterlevs eller för forskningsändamål) eller kartläggning av källor till luftföroreningar (för planering eller kontroll av tekniskt förebyggandet förebyggande åtgärder). När det gäller kartläggning av källor planeras provtagningen på ett sätt som bestäms av de lokala förhållandena. Kravet på noggrannhet (jfr nedan) i bestämningen varierar. Ett viktigt krav är att resultaten snabbt kommer fram. Det bästa är att använda direktvisande instrument för denna typ av mätning. Kartläggning av källor behandlas inte vidare i det följande.

Vid exponeringsmätning eftersträvas en representativ bild av koncentrationen i inandningsluften hos personal utsatt för luftföroreningar. Exponeringsmätning görs bäst med personburen utrustning med provtagning i andningszonen hos den undersökta personen. När provtagningsutrustningen inte kan bäras av den undersökta personen, måste provtagningen planeras och övervakas så att den sker i inandningsluften. Vid alla mätningar är mätfel oundvikliga. Även om instrumenten är noga kalibrerade och mätningarna utförs av väl utbildad personal är mätfelen inte alltid försumbara. För bedömningen av mätresultaten är en uppfattning om var mätfelen uppkommer och vad de betyder nödvändig. Med denna kunskap kan man i många fall genomföra och bedöma arbetsmiljömätningarna utan komplicerad planering och resultatbehandling. När mätresultaten ligger nära ett gränsvärde är en formell behandling klargörande för den aktuella situationen. Följande avsnitt syftar till att skapa förståelse för vilka faktorer som påverkar mätningarnas tillförlitlighet och ge hänvisningar till var ytterligare information kan hämtas.

2.1. Gränsvärdesdefinitioner

Koncentrationen av en luftförening i en lokal vid olika tidpunkter varierar enligt ett komplicerat mönster. Olika luftföroreningar har dessutom olika snabb verkan i människans kropp. Detta har lett fram till begreppen nivågränsvärde och takgränsvärde, i båda fallen gällande koncentrationen i inandningsluften hos ifrågavarande personal. Nivågränsvärden gäller det tidsvägda medelvärdet för exponeringen under en arbetsdag, i regel åtta timmar. Tillfälliga överskridanden av nivågränsvärdets siffervärde begränsas av bestämmelserna om särskilda korttidsvärden för 15-minutersperioder för vissa ämnen. Takgränsvärdet gäller medelvärdet för exponering under 15 minuter eller för vissa ämnen 5 minuter. Takgränsvärden åsätts ämnen med snabb verkan eller på annat sätt särskilt farliga ämnen.

2.2. Provtagningens representativitet

Provtagningen kan vara mer eller mindre representativ i flera bemärkelser. I vid bemärkelse gäller frågan om provtagningen är representativ för alla exponerade personer, för alla produktionsförhållanden och för alla årstider. Luftföroreningarna varierar mellan produktionsrutinerna, verksamhetens omfattning, lufrörelserna i lokalen och därmed också med ventilationsförhållandena och utomhustemperaturen. Det är en omdömesfråga att ta proven när förhållandena är normala, dvs representativa, eller i annat fall att noga specificera för vilka förhållanden provtagningen kan anses vara giltig. Valet av hur många och vilka personer som skall undersökas och vilken eller vilka dagar som skall ingå i undersökningen är en omdömesfråga och en ekonomisk fråga. För vissa ämnen där Arbetarskyddsstyrelsen föreskriver obligatoriska exponeringsmätningar gäller särskilda regler.

I snäv bemärkelse gäller provtagningens representativitet frågan om mätresultaten är representativa för den person som provtagningen gäller, den dag provtagningen skett. För att diskutera denna fråga måste längden av provtagningsperioden och olika typer av mätfel närmare definieras.

2.3. Definitioner av begrepp

Några begrepp som används i fortsättningen definieras enligt följande:

Provtagningsperiod = den period under vilken faktisk provtagning sker, dvs från det provtagningsutrustningen startas tills den stängs av.

Undersökningsperiod = den period för vilken man önskar bilda ett koncentrationsmedelvärde för ett visst ämne med nivågränsvärde blir denna period en arbetsdag eller ett skift. För ett ämne med takgränsvärde eller korttidsvärde blir undersökningsperioden 15 eller 5 minuter. Vid exponeringsmätning i det senare fallet kan det behövas flera undersökningsperioder under en arbetsdag eller den del av en arbetsdag då man befarar den högsta exponeringen.

Fulltidsprov = prov som tagits under hela undersökningsperioden, så att provtagningsperiod och undersökningsperiod helt sammanfaller. Fulltidsprov kan tas som ett enda prov eller flera på varandra följande deltidsprov som tillsammans täcker undersökningsperioden.

Korta deltidsprov = prov som tagits under kort tid och som ensamma eller tillsammans inte täcker undersökningsperioden. Flera korta deltidsprov kan fördelas över en undersökningsperiod slumpmässigt eller med bestämda mellanrum.

| | |
|-------------------|---|
| Mätfel = | fel i bestämningen av ett prov. Felen kan studeras med statistiska metoder tillämpade på upprepade mätningar när det gäller små fel som uppkommer när provet tas (t ex en liten felavläsning av en klocka eller en flödesmätare), vid transport av prover (t ex förlust av provlösning eller avdunstning av provlösning) eller vid den följande kemiska analysen (t ex en liten felavläsning av en våg). Felen kan också bedömas på annat sätt. |
| Provtagningsfel = | ett urvalsfel hos prov som tagits under kort tid i förhållande till prov som tagits under längre tid. Speciellt diskuteras provtagningsfelet hos medelvärdet av korta deltidsprov i förhållande till fulltidsprov under samma undersökningsperiod. |

2.4. Informationsvärde hos fulltidsprov

Fulltidsprov ger den bästa precisionen vid bestämning av medelvärdet under undersökningsperioden. Om ett enda fulltidsprov tas erhålles ingen uppfattning om svängningarna omkring medelvärdet. Om fulltidsprov tas i form av flera på varandra följande deltidsprov erhålles en uppfattning om variationerna.

2.5. Informationsvärdet hos medelvärden av korta deltidsprov

Att ta ett antal korta deltidsprov (t ex fem till tio) under en arbetsdag eller del av arbetsdag är många gånger det bästa sättet att bestämma variationen i koncentrationen i inandningsluften hos en operatör. Problemet blir då i stället provtagningsfelet hos medelvärdet av deltidsprovna. Luftföroreningskoncentrationen varierar i inandningszonen hos den exponerade personen under arbetsdagen beroende på bland annat produktionsförhållanden, luftrörelser och personens förflyttning i lokalen. Provtagningsfelet i medelvärdet av deltidsprov är avvikelsen från det sanna medelvärdet i inandningsluften under hela undersökningsperioden (vanligen hela arbetsdagen). Provtagningsfelet beror på att slumpen bestämmer vad deltidsprov tas. Ju kortare varje deltidsprov är, ju större kan provtagningsfelet i medelvärdet bli. Det inser man om man tänker sig att längden på deltidsprovna får öka tills de täcker hela undersökningsperioden. Då minskar provtagningsfelen i medelvärdet och försvinner till slut helt när deltidsprovna tillsammans täcker undersökningsperioden. Vanligen kan man bortse från denna effekt och enbart ta hänsyn till att få ett tillräckligt stort prov för analysen utan att överbelasta provtagningsapparaturen. Vid dammprovtagnning kan det vara svårt att på kort tid få tillräckligt stort prov för analysen. Variationen under dagen blir därför dåligt belyst. Denna variation är mest intressant för ämnen med akuta effekter eller ämnen som upptas snabbt i kroppen, vilket gäller främst gaser och organiska lösningsmedel.

2.6. Behandling av mätresultat

Arbetskyddsstyrelsens kungörelse om hygieniska gränsvärden anger att genomsnittshalten av en luftförorening normalt är godtagbar om gränsvärdet inte överskrids. Dessutom anges att olika mätmetoders tillförlitlighet behöver beaktas. Med hjälp av medelavvikelsen hos korta deltidsprov tagna under t ex en dag kan ett konfidensintervall för dagsmedelvärdet beräknas på konventionellt sätt. Konfidensintervallet är ett område som med noga specificerad sannolikhet (t ex 95% sannolikhet) innehåller det sanna medelvärdet. Om den övre gränsen hos detta område ligger under gränsvärdet, är gränsvärdet sannolikt underskridet. Om den undre gränsen av konfidensområdet ligger över gränsvärdet, är gränsvärdet sannolikt överskridet. Med hänsyn till att luftföroreningar ofta ger koncentrationsvariationer som är långt ifrån normalfördelade, med många låga koncentrationer och några få höga koncentrationer, kan det vara lämpligt att använda logaritmisk normalfördelning av beräkningarna. Ett schematiserat sätt att utföra bedömning av medelvärden av korta deltidsprov har angetts av Ulfvarson. Mätfelet i ett fulltidsprov eller ett enstaka kort deltidsprov studeras och behandlas på ett annorlunda sätt. Detta mätfel är vanligen betydligt mindre än provtagningsfelet hos medelvärden av korta deltidsprov. För att komma åt det måste man antingen ta flera parallella prov på så vitt möjligt samma plats eller lita till tidigare felbestämning med motsvarande utrustning och metoder utförda exempelvis med hjälp av en genereringsanläggning på laboratorium.

2.7. Variationen mellan dagar

Vanligen sker exponeringsmätning genom provtagning under loppet av en enda arbetsdag eller under några få intilliggande dagar. Sådan provtagning ger inte underlag för en bedömning av variationen mellan dagar under en längre period, månader, år eller ännu längre tid. Frågan är hur stor sannolikheten är att man då och då överskrider gränsvärdet på en arbetsplats trots att ett observerat dagsmedelvärde ligger under gränsvärdet. Under antaganden om variationen mellan dagar har ett diagram konstruerats av Leidel et al som underlättar förståelsen av detta problem. Med utgångspunkt från diagrammet motiverar författarna att man använder en åtgärdsnivå motsvarande halva gränsvärdet. Man kan givetvis motivera användandet av någon annan bråkdel av gränsvärdet som åtgärdsnivå. Om mätresultatet ligger under inom viss tid, t ex ett år. Om mätresultatet ligger över åtgärdsnivån, men under gränsvärdet, upprepas mätningen omedelbart för att ge bättre underlag för beslut. Om mätresultatet efter upprepning fortfarande ligger över åtgärdsnivån men under gränsvärdet, vidtas lämpligen luftföroreningsbegränsande åtgärder. Det är då sannolikt att tillfällig exponering över gränsvärdet förekommer alltför ofta för att situationen skall anses acceptabel i längden.

Litteratur

- Yrkeshygieniska mätningar av luftföroreningar. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse AFS 1988:3.
- SS-EN 689, Workplace atmospheres - Guidance for the assessment of exposure to chemical agents for comparison with limit values and measurement strategy (Arbetsplatsluft - Vägledning för bedömning av exponering genom inandning av kemiska ämnen för jämförelse med gränsvärden och mätstrategi)
- PrEN 1997-01-09. Workplace atmospheres - Guidelines for measurement of airborne microorganisms and endotoxin.
- Leidel, N.A., Busch, K. A., Lynch, J. R. Occupational exposure sampling strategy manual. DHEW (NIOSH) Publication No. 77-113.
- Ulfvarson, U. Statistical evaluation of the results of measurements of occupational exposure to air contaminants. Scand J Work Environ Health 3 (1977) 109-115.

3. Direktvisande mätmetoder för gasformiga ämnen

Med direktvisande metoder förstås mätutrustningar där provtagnings- och analysfunktionerna är sammanförda till manuellt eller automatiskt samverkande enheter.

Direktvisande instrument kan med hänsyn till det sätt på vilket analysinformationen presenteras indelas i alarminstrument och kvantifierande instrument. Den förstnämnda gruppen avser instrument som avger en visuell eller akustisk signal, då en viss förvald gaskoncentration över- eller underskridas, medan instrument ur den senare gruppen lämnar kvantitativa mätvärden avläsbara i analog eller digital form. Begreppet direktvisande instrument omfattar således en stor grupp av mätutrustningar från analysampuller till exklusiva automatiskt registrerande flerkanalssystem.

3.1. Instrumentmetoder

Direktvisande mätinstrument har den stora fördelen gentemot annan teknik med separata provtagnings- och analyssteg, att ett visst processförlopp bättre kan följas och att omedelbara beslut på grundval härav kan fattas. Särskilt lämpliga med hänsyn till gränsvärdeslistans definition är instrument, som ger tidsvägda 15-minuters medelvärden.

3.1.1. Detekteringsprinciper

Ett stort antal detekteringsprinciper är representerade i utbudet av direktvisande instrument. Det är svårt att göra en strikt logisk indelning av dessa mätprinciper, som samtidigt är givande ur avnämarens synvinkel. Några av de vanligaste mätprinciperna beskrivs nedan, grupperade med utgångspunkt från vissa inbördes likheter vad gäller kemiska-fysikaliska aspekter eller den systemmässiga uppbyggnaden.

A. Fotometriska metoder

Först bör nämnas de spektrofotometriska direktmetoderna, där gasernas ljusabsorption mäts direkt i en gaskyvet. Varje gasmolekyl uppvisar beroende på sin elektronstruktur och sin molekylära struktur vissa specifika absorptionsband för elektromagnetisk strålning.

Vid bestrålning av ett gasprov med synligt ljus, UV- eller IR-strålning av en våglängd som den sökta komponenten absorberar, får man efter det att strålen passerat gasmassan en reduktion av strålningsintensiteten, som detekteras med t ex fotoceller. Förhållandet mellan den ingående strålens intensitet och intensiteten

hos strålen efter passagen av gasmassan ger således ett kvantitativt uttryck för halten av den aktuella komponenten.

För t ex ozon och kvicksilverånga utnyttjas den mycket starka absorptionen i det ultravioletta området, medan vid analys av koloxid, kväveoxid och kolväten företrädesvis det infraröda området användes. Man använder såväl dispersiva (kompleta) instrument som icke-dispersiva. I det senare fallet skapas selektiviteten på detektorsidan medan i det förra fallet selektiviteten åstadkoms genom generering av specifika våglängder.

En annan - apparattekniskt sett heterogen - undergrupp av fotometriska instrument kan bildas om man inkluderar alla instrument, där provgasen först får reagera med ett annat ämne under ljus- eller färgutveckling, vilken registreras fotometriskt.

Vissa gaser reagerar vid rumstemperatur med andra ämnen under ljusutveckling, kemiluminiscens. Den avgivna ljusenergin förstärks i en fotomultiplikator och kan tas som ett kvantitativt mått på gashalten. Känsligheten är tillräcklig för mätningar även ned till omgivningshygieniska haltnivåer. Applikationsexempel är ozon- och kväveoxidanalys, där de aktuella gaserna får reagera med etylen resp ozon. För analys av gasformiga svavelföreningar kan flamfotometrar med hög känslighet utnyttjas. Svavel avger en i förhållande till bakgrunden hög ljusenergi, då svavelhaltig gas exciteras i en väterik flamma. Intensiteten mäts vid en specifik våglängd.

Fotometriska metoder, som bygger på färgutveckling i ett medium kallas kolorimetriska metoder. Gaskomponenten i luftprovet får reagera med färgreagens i en absorptionslösning (kolorimetriska analys) eller på en yta (t ex filtertapeinstrument). Den bildade färgningens intensitet eller den erhållna avfärgningsgraden utvärderas.

B. Jonisationsdetektorer

Den för arbetsplatsundersökningar mest intressanta jonisationsdetektorn är flamjonisationsdetektorn (FID). Likheten är stor med flamfotometern, men i stället för ljusintensitet registreras här den jonström, som erhålles mellan en vätgasbrännare i vilken gaskomponenten joniseras och en motelektrod. Flamjonisationsdetektorn kan utnyttjas som en högkänslig detektor för organiska lösningsmedel. För halogen- och svavelrika lösningsmedel är den inte fullt så känslig. På marknaden finns totalkolvätemätare, som baseras på flamjonisationsprincipen. Flamjonisationsdetektorn används vanligen tillsammans med gaskromatografisk separation för att få önskvärd selektivitet.

En typ av detektor, som i många fall kan ersätta flamjonisationsdetektorn, är fotojonisationsdetektorn. I denna detektor joniseras gaskomponenten med hjälp av UV-ljus. Andra typer av jonisationsdetektorer förekommer, t ex electron-capture-detektorn (elektroninfångningsdetektor), som är högkänslig för många halogenkolväten. ECD finns bl a i transportabla gaskromatografer, läcksökningsinstrument och andra direktvisande instrument. Dessa är tämligen specifika för halo-

genkolväten och har samtidigt vanligen hög känslighet för sådana ämnen. Till gruppen jonisationsdetektorer kan även inräknas masspektrometriska metoder.

C. Termiska detektorer

Med termiska detektorer avses instrument, som baseras på mätning av temperaturförändringar relaterade till en viss gaskomponents inverkan. Detektering av temperaturförändringar sker vanligen genom mätning av elektriska motståndsändringar.

I en värmeledningsdetektor hålls en motståndstråd eller termistor vid en bestämd temperatur i en referensgas. Beroende på att olika gaser har olika värmeledningsförmåga kommer trådens temperatur vid ett givet gasflöde att vara avhängigt av gassammansättningen i dess omgivning. Känsligheten hos dessa detektorer är relativt låg, men i motsats till FID reagerar de även för oorganiska gaser och ångor. Värmeledningsdetektorn används mest i gaskromatografiska system, men kan utnyttjas även direkt utan separationssteg. Applikationsexempel är vätgas-, koldioxid- och svaveldioxidanalys i procentområdet.

Till skillnad från värmeledningsdetektorn, som icke-destruktivt mäter fysikaliska egenskaper i en gasblandning, arbetar katalytiska detektorer med förbränning av gaskomponenter och registrerar motsvarande elektriska motståndsändringar (temperaturändringar) i en termistor. Vanligen utgörs katalysatorn av en platina-beläggning. Typexempel är explosimetern. Ett annat exempel är koloxidmätare, som baseras på reaktion mellan gasen och en metalloxidblandning, i vilken en temperaturkänslig mätkropp är införd.

D. Halvledardetektorer

Ur mätteknisk synvinkel är uppbyggnaden av halvledardetektorer lik termiska detektorer (motståndsändringar i bryggkoppling). Motståndsändringarna orsakas dock ej av termiska effekter, utan av att olika gassammansättningar ger olika jämviktslägen på sammansättningen i halvledarens ytskikt. Halvledarprincipen finns representerad i enklare alarminstrument för bl a koloxid, klor, svavelväte och explosionsfara.

E. Elektrokemiska detektorer

Mätningar sker mellan elektroder nedsänkta i en elektrolyt, vars sammansättning ändras vid kontakten med gasprovet. Gaskomponenten kan också direkt - med eller utan kemikalieförbrukning - ingå i en elektroreaktion vid endera elektrodytan. Specificitet erhålls genom lämpligt val av reagenssystem respektive elektrodpotential.

Elektrokemiska detektorer används framför allt för analys av oorganiska gaser, som vid hydrolys (och vid eventuell annan kemisk reaktion) i lämpliga lösningar ger mätbara jonaktiviteter eller, som genom redoxreaktioner påverkar elektrodflöppet. I det förra fallet kan lösningens förändringar i ledningsförmåga mätas (t ex svaveldioxid-, koldioxid- och svavelväteanalys). I det senare fallet kan jonspecifika elektroder användas, t ex pH, ammoniak-, fluorväte- och klorväteanalys.

Vid användande av redoxreaktioner där gaskomponenten reagerar kvantitativt i cellen och den alstrade strömmängden mäts, talar man om coulometriska mätmetoder.

Exempel på reaktioner, där gasen reagerar direkt vid elektrodytan (bränsle-celler) är syremätare och koloxidmätare, där en mot gashalten proportionell mätström kan uttagas på samma sätt som från en galvanisk cell.

De direktvisande instrumenten är i regel ganska dyra i anskaffning. I gengäld blir driftkostnaden per analys låg jämfört med metoder, som kräver provtagning på platsen, transport till laboratorium, analys och utsändning av analysresultat. Direktvisande instrument lämpar sig därför bäst för arbetsplatser med behov av långa, ofta återkommande mätserier. Instrumenten har relativt stort behov av kalibrering och underhåll, om tillförlitliga mätningar skall kunna utföras. Detta bidrar i viss mån till att öka driftkostnaden.

Litteratur

Hansén, L. och Skare, I. Personburna och bärbara direktvisande instrument för mätning av gasformiga föroreningar i arbetsmiljön - en marknadsöversikt.

Undersökningsrapport 1992:12, Arbetsmiljöinstitutet.

EN 12411-1, Workplace atmospheres - Electrical apparatus for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours - Part 1: General requirements

EN 12411-2, Workplace atmospheres - Electrical apparatus for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours - Part 2: Performance requirements for apparatus used for measuring concentrations in the range of limit values

EN 12411-3, Workplace atmospheres - Electrical apparatus for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours - Part 3: Performance requirements for apparatus used for measuring concentrations well above limit values

3.1.2. Kalibreringsprinciper

För kalibrering av direktvisande instrument används både statiska och dynamiska gasblandningssystem. De enklaste systemen för tillverkning av kalibreringsgas är de statiska. Benämningen statisk syftar på att man på en gång tillblandar en viss bestämd volym av kalibreringsgas. Blandningen sker sedan man t ex gravimetriskt, volumetriskt eller manometriskt doserat koncentrerad gas och luft i kända proportioner.

Enkelheten hos de statiska systemen skall vägas mot den ökade risken för adsorptionsförluster i kärlnaterialet eller att andra instabilitetseffekter gör sig gällande, vilket begränsar metodens användbarhet för reaktiva gaser. Problem kan också uppstå att utan cirkulation tillräckligt snabbt få den spädda gasblandningen homogen. Den vanligaste statiska tekniken är att injicera koncentrerad gas eller flyktig vätska i en laminatpåse, som sedan fylls till känd volym med luft t ex med

hjälp av en graderad spruta eller, för större volymer, med tryckluft via en gasmätare.

Man kan också köpa färdigspädd och analyserad kalibreringsgas på tryckflaska. Kalibreringsgas kan erhållas på engångsflaskor innehållande från 100 ml - 10 bar (= 1 liter gasblandning av NTP) till 50 liter - 150 bar (= 7 500 liter gasblandning av NTP). Stabilitetsproblemet kvarstår emellertid - ofta kan halter i det lägre ppm-området endast garanteras några månader.

Vid dynamiska system blandas kontinuerliga kända flöden av koncentrerad gas och spädluft. Ett sätt att tillföra den koncentrerade gasen är att utnyttja diffusionsprincipen. Den aktuella gasen, kondenserad till vätska, innesluts i ett permeabelt hölje som placeras i en termostaterad spädluftström. Den utgående luftströmmen har en halt som kan beräknas med ledning av gravimetriskt framtagna data rörande diffusionshastigheten vid olika temperaturer. Metoden används för t ex NO_2 , SO_2 , H_2S , Cl_2 . För ämnen med lägre ångtryck låter man diffusionen ske genom kapillär i stället för genom membran. Kalibreringsmetoden kan göras noggrann genom att den baseras på vägning. Kraven på termostatering och nätdrift gör principen mindre lämplig i fältkalibreringssammanhang.

En snarlik princip baseras på ångtrycksdata och är därför mest lämplig för generering av lösningsmedelsångor. En känd mindre delström luft mättas av passagen av termostaterat lösningsmedel och den mättade delströmmen blandas sedan med huvudflödet av spädluft. Kravet på noggrann termostatering gör också denna metod mindre lämplig som fältmetod.

För vissa gaser tillämpas mycket specialiserade system. Ett exempel är ozongenerering med UV-lampa, en teknik som används till flera kommersiella ozonanalyser. Andra system baseras på rent kemiska gasgenereringsmetoder, t ex generering av NO_2 genom oxidation av NO .

Ovannämnda dynamiska genereringsmetoder baseras alla på fysikaliska eller kemiska principer. Även flera mekaniska-volumetriska principer är värda att nämnas. Man kan t ex genom kontinuerlig insprutning med sprutor, kolvpumpar eller peristaltiska pumpar dosera koncentrerad gas eller motsvarande condensat till spädluftströmmen. I det senare fallet krävs dessutom att förångningssteg (värmning eller finfördelning). Kommersiellt tillgängliga system är relativt dyra.

I samband med volym-dosering används även spädning via flödesmätare. Tekniken är relativt billig och flexibel, men problem uppstår ofta med de små rotametrarnas funktion (ml/min-området), bl a är de mycket känsliga för lutning, vibrationer och nedsmutsning.

Mer robust och minst lika billig är den teknik där flödesbestämning görs genom tryckfallsreglering med strypningar. Antingen varieras strypningarnas dimensioner vid konstanta tryckförhållanden eller varieras pålagda tryck eller undertryck över en konstant strypning.

3.2. Ampullmetoder

Mätning med analysampuller innebär användning av ett analytiskt mätsystem baserat på en "ampull" (igensmält glaströr), innehållande en reagensbelagd bärare av viss kornstorlek samt en pump - vanligen handdriven - som suger provluften genom den öppnade ampullen. Ampulltekniken kan sägas vara en utveckling av testpappermetoder för kvalitativ analys.

Kontakten mellan den undersökta komponenten i provluften och reagenset ger i indikatorskiktet upphov till ett färgomslag (färgning eller avfärgning). Vanligen tas längden av den färgade zonen som ett kvantitativt mått på gashalten enligt en påtryckt eller bifogad skala. För vissa ampulltyper sker i stället färgomslag i indikationsskiktet som helhet och gashalten kvantifieras då genom att man jämför färgintensiteten med en i ampullen inbyggd referensfärg eller separat färgkarta.

Färgreagensen kan vara mer eller mindre specifika för den undersökta gaskomponenten ifråga. Ampuller för organiska ämnen, t ex lösningsmedel, baseras ofta på mindre specifika reaktioner än ampuller för oorganiska ämnen, t ex svavelväte. För vissa ampuller har selektiviteten kunnat förbättras genom inbyggnad av olika förskikt, som absorberar eller bryter ner störande ämnen.

I Sverige är f n fem större tillverkare av mätsystem baserade på analysampuller representerade och med deras totala utbud kan mer än 200 gasformiga ämnen analyseras:

Auer GmbH, Tyskland (agentur Tegma AB, Malmö, tel 040-80 200)

Drägerwerk AG, Tyskland (agentur Dräger Svenska AB, Svenljunga, tel 0325-12 960)

Gastec Co., Japan (agentur Kebolab AB, Spånga, tel 08-621 34 00)

MSA Co., USA (agentur Tegma AB, Malmö, tel 040-80 200)

Kitagawa, Japan (Bicapa-Björnkäder AB, Stockholm, tel 08-615 87 00)

Huvuddelen av de kommersiellt tillgängliga analysampullerna är framtagna för att mäta gashalten i det arbetshygieniskt intressanta haltområdet, dvs kring ämnens hygieniska gränsvärde. Det finns dock även exempel på analysampuller avpassade för tekniska mätningar (höga gashalter), omgivningshygieniska halter (ppb-området) och speciella ampuller och teknik för kontroll av utandningsluft.

Numer finns - som komplement till de vanliga ampullerna för korttidsanalys - på marknaden dels diffusionsstyrda ampuller, dels ampuller för elektriskt driven långtidsmedelvärden under en arbetsdag.

För såväl analysampuller som för andra mätsystem gäller vissa begränsningar i haltområde, specificitet, temperatur- och fuktberoende. Likaså måste lagringsproblem beaktas. Det bör i detta sammanhang bl a påpekas att man inte utan kontrollkalibrering skall sammankoppla pumpar och ampuller från olika tillverkare.

Analysnoggrannheten och specificiteten för analysampuller kan inte jämföras med vad som kan erhållas med t ex adsorbentprovtagning och kromatografisk analys, och haltvariationer kan inte studeras lika lätt som med t ex skrivande, direktvisande instrument. Exponeringsmätningar kan heller inte utföras med analys-

ampuller. Ampullanalys är dock genom sin enkelhet, snabbhet och åtminstone för kortare serier låga pris ett mätsystem, som rätt utnyttjat, kan lösa vissa gasanalysproblem i arbetsmiljösammanhang.

Litteratur:

EN 1231, Workplace atmospheres - Short term detector tube measurement systems - Requirements and test methods.

4. Direktvisande mätmetoder för aerosoler

För mätning av aerosoler i arbetsmiljön finns behov av instrument, vilka har hög tidsupplösning och direkt resultatredovisning samtidigt som de är enkla att handha. Gemensamt för de direktvisande instrumenten är att de mäter en aerosolkoncentration ospecificerat i form av en finfraktion eller en storleksfördelning, och därför endast är ett komplement till de metoder som används för exponeringsmätningar. Exempel på detta är när man vill studera koncentrationsvariationer under ett arbetspass. Tillgång till direktvisande instrument underlättar även planering av exponeringsmätningar, genom att man snabbt kan fastställa var det luftburna dammet alstras, hur det sprids i lokalen samt under vilket moment i en process som den huvudsakliga dammalstringen sker. Metoderna lämpar sig också för studier av olika åtgärders effekt på partikelhalterna samt för läcksökning.

Direktvisande mätinstrument finns i många olika utföranden, med olika användningsområden. De är alla mer eller mindre direktvisande jämfört med provtagning med filter för efterföljande laboratorieanalys. Instrumenten kan delas upp efter huruvida de räknar och storleksbestämmer enstaka partiklar, mäter någon storhet som är direkt kopplad till aerosolens masskoncentration, eller mäter någon annan storhet.

A. Partikelräknare

Dessa instrument räknar antalet provtagna partiklar i olika storleksklasser. Partiklarna är luftburna under hela sin passage genom partikelräknarna. De flesta av dessa instrument är anpassade för mätningar av luft som är renare än vanlig utomhusluft. Instrumenten är ofta stora och tunga. De mindre instrumenten som kan användas för personburna mätningar kan inte mäta de höga halter som ofta förekommer i industrimiljö. Instrumenten gör inga analyser på de provtagna partiklarna, utöver de som görs under provtagningen för att bestämma partikelstorleken, varför man ej i efterhand kan avgöra partiklarnas form, kemiska sammansättning, densitet, eller optiska egenskaper. De är därför inte lämpade för mätningar relativt gränsvärdeslistan. Partikelräknare finns i främst tre utföranden, beroende på huruvida partikelstorleken klassificeras avseende på de enskilda partiklarnas spridning av ljus (vitt eller laser), elektriska mobilitet, eller aerodynamiska storlek. Den optiska och aerodynamiska bestämningen sker parallellt, medan den elektriska sker sekventiellt för olika mobiliteter. Därför finns vid parallell storleksbestämning en maximal partikelkoncentration innan sannolikheten för att två partiklar skall registreras som en större blir oacceptabelt hög, och de uppmätta partikelstorleksfördelningarna inte längre går att tolka. De optiska och aerodynamiska partikelräknarna mäter fel (ibland möjligt att korrigera) ifall de används på andra aerosoler än de med vilka de kalibrerats, vanligen DOP-dimma

eller polystyrendamm. Dessa instrument är mycket känsliga och kräver stor erfarenhet för att hantera dem och tolka deras resultat.

Det finns en typ av partikelräknare (flyttbar) som enbart räknar fibrer i ett storleksintervall. Denna fiberräknare följer dock inte alla de räkneregler som gäller vid utvärdering mot gränsvärdeslistans fiberhalter.

B. Instrument som mäter aerosolens masskoncentration

Till skillnad från partikelräknare, som räknar och mäter enskilda luftburna partiklars storlek, deponerar dessa instrument aerosolens partiklar först på en yta, och därefter bestäms en storhet som beror på totalmassan av de deponerade partiklarna. För att massan på detta indirekta sätt skall kunna bestämmas fordras först att en viss minsta aerosolmassa har deponerats, varför man inte kan erhålla samma tidsupplösning som med de optiska och aerodynamiska partikelräknarna. Två olika mätprinciper finns, förändring av resonansfrekvens för vibrerande plattor, rör, filter etc., respektive absorption av radioaktiv strålning (B). Flera deponeringsmekanismer används, som filtrering, impaktion och elektrisk avskiljning. Storleken på dessa instrument varierar från flyttbara till bärbara, men inget instrument avpassat för personburna mätningar finns idag kommersiellt tillgängligt. De större instrumenten tycks fungera bra vid utomhusmätningar, typ PM-10, men de mindre bärbara har av olika anledningar inte fungerat så bra vid arbetsplatsmätningar.

C. Övriga direktvisande instrument

Denna grupp består praktiskt sett enbart av en sorts instrument, och det baserar sig på partiklars förmåga att sprida ljus. Principen är densamma som för de optiska partikelräknarna, men för instrumenten i denna grupp är mätcellen mycket större så att det inte enbart är en partikels spridda ljus som detekteras åt gången. Man erhåller i princip ett momentant värde relaterat till aerosolkoncentrationen. Praktiskt taget alla dessa mätinstrument har en känslighetskurva som medför att de utan att behöva använda föravskiljare i stora drag provtar den respirabla fraktionen. Känsligheten för större partiklar faller snabbt. Dessa instrument mäter ej en aerosols masskoncentration (eftersom mätsignalen är oberoende av partiklarnas densitet). Istället beror signalen på aerosolens optiska egenskaper, och dess storleksfördelning (instrumenten är mycket känsligare för rök än för damm eller dimma). Detta gör det nödvändigt att mäta upp omräkningsfaktorer ifall instrumenten skall användas för absoluta mätningar av t. ex. inert mineraldamm eller en viss kemisk förening. Instrumentens mätsignal är däremot mycket linjär, och de är enkla att tillverka och behöver i princip ingen pump, varför versioner för personburna mätningar finns kommersiellt tillgängliga. Då mätningar för att bestämma omräkningsfaktorer är mycket tidskrävande är instrumenten ej lämpade för mätningar gentemot gränsvärdeslistan. Istället är instrumenten utmärkta för tekniska, åtgärdsinriktade mätningar.

Litteratur

Kuusisto P, Krantz S, Utvärdering av direktvisande mätinstrument för aerosoler. *Arbete och Hälsa* 1983:15.

Willeke K, Baron P, (eds.) *Aerosol measurement: Principles, techniques, and applications*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.

5. Metoder med separata provtagnings- och analyssteg

5.1. Volymmätning

Vid mätning av föroreningshalter i luft uttrycks mätresultatet i volym- eller vikt-delar av föroreningen per volymdelar provluft. Vid arbetshygieniska undersökningar används för angivande av aerosolhalter sortenheter mg/m^3 och för gasformiga ämnen dessutom enheten ppm (parts per million), som här skall utläsas volymdelar föroreningar per en miljon volymdelar luft.

I gränsvärdeslistan förekommer f n angivelser för gasformiga ämnen uttryckta i såväl ppm som mg/m^3 . Omräkning mellan de båda sortenhetererna kan utföras med nedanstående ekvation:

$$\frac{X \cdot P \cdot M}{RT} = Y$$

eller vid trycket 1 bar

$$\frac{X \cdot M}{RT} = Y$$

där X = ämnets koncentration i ppm
Y = ämnets koncentration i mg/m^3
M = ämnets molvikt
R = 0,083 bar $\text{mol}^{-1} \text{grad}^{-1}$
T = absoluta temperaturen (K)
P = lufttrycket i bar

Eftersom ett haltvärde bildas genom division mellan en analyserad provmängd av det aktuella ämnet och luftprovets volym (eller mellan detekterad mängd per tidsenhet och luftflöde) kommer givetvis noggrannheten i volymmätningen (flödet) att få samma betydelse för slutresultatets tillförlitlighet som noggrannheten i själva analyssteget (detektorn).

Man kan indela instrument för totalvolymmätning i sådana, där hela luftprovet uppsamlas i ett slutet kärl (direktuppsamling) och sådana, där luftprovet får passera mätanordningen under upprepade förträngning av kända volymer. Till den förra gruppen hör t ex evakuerade gaspipetter, sprutor eller spirometrar och till den senare gruppen räknas kolvpumpar, torr-gasmätare (bälgar) och våtgasmätare (roterande skovlar). Av totalvolymmetoderna kan framför allt spirometern och våtgasmätaren sägas ha rangen av primära referensmetoder, vilka efter hänsynstagande till aktuella tryck- och temperaturförhållanden kan ge en hög noggrannhet (ca $\pm 0,5\%$) i uppmätt provluftvolym.

Vid sidan av totalvolymbestämning tillämpas även volymbestämning genom flödesmätningar i form av t ex lufthastighetsmätning med pitotrör eller anemometrar (vinghjul, termiska). För luftföroreningsanalys är rotametrar och teknik som baseras på tryckfallsmätning över förträngningar (strypfläns, kapillär och

venturirör) bättre lämpade. Volymbestämningen utförs praktiskt så, att flödet bestäms t ex före och efter provtagningen. Provtagningstiden antecknas och volymen beräknas ur produkten av medelvärdet av flödet och tiden.

I det följande beskrivs kortfattat några av de ovan omnämnda metodikerna.

A. Spirometer

En spirometer består av en cylindrisk behållare med känd volym. Behållaren är rörlig i höjddled över en kolv flytande i ett vätskefyllt kärl. Reproducerbarheten vid luftvolymmätningar är bättre än $\pm 0,2\%$ av nominellt flöde. Spirometern kan anses vara en normal för andra volymmätningssinstrument.

B. Evakuerade kärl

Kärlets totala inre volym bestäms först genom t ex differensvägning efter fyllning med vatten. Provtagningen har karaktären av momentanprov, men provtagningstiden kan förlängas upp till några minuter genom att man i inströmningsöppningen placerar en förträngning, t ex kanyl eller kapillär. Kärlen kan antingen vara helt torra, vilket dock medför risk för adsorptionsförluster på kärlväggarna under lagringen, eller försattsas med en lämplig absorptionslösning i vilken den avsedda komponenten under omskakning av kärlet anrikas. Evakuerade kärl är nödvändiga där lång kontakttid mellan gasprov och adsorptionslösning erfordras.

C. Spruta

Arbets sättet och tillämpningsområdet liknar det som användes vid provtagning med evakuerade kärl med bl a den skillnaden att gasprovets storlek här lättare kan fyllas med olika hastigheter, dvs tas som momentanprov, 15-minuterprov eller längre tid (motordriven spruta). Då hela volymen i sprutan utnyttjas för analys används den även som volymmätningssinstrument. Adsorptionsförlusterna kan nedbringas genom att sprutan "sköljs" några gånger med provluft. Lagringstiden är begränsad - några timmar - för många ämnen mindre.

D. Gasur

För fältbruk används torrasmätare för registrering av större luftvolymmer. Torrasmätaren mäter luftvolymen, som registreras med ett räkneverk. Gasur tillverkas för olika flödesområden. Tekniken används t ex vid stationär bestämning av dammhalter.

E. Rotameter

En rotameter består av svävkropp (kula eller kon) och ett graderat koniskt glaströr. Med rotametern bestäms endast det momentana luftflödet, varför tekniken är olämplig vid variationer i luftflödet. Rotametern är mycket känslig för nedsmutsning och måste som alla icke absoluta metoder kalibreras med jämna mellanrum.

F. Tryckfallsmätning över strypning

Genom att placera en strypning i en provtagningsledning och mäta tryckfallet över strypningen kan man ur kalibreringsvärden bestämma det momentana flödet. Om

atmosfärtryck råder på ena sidan av strypningen, kommer flödet att öka med ökat undertryck på den andra sidan. Så småningom blir denna relation allt mindre linjär och slutligen inträder ett förhållande då ökat undertryck ej ger upphov till någon ytterligare flödesökning. Man säger att ett kritiskt tryckförhållande har uppnåtts. Detta specialfall utnyttjas för konstanthållning av flöden, t ex vid gasprovtagning med adorbentrör.

G. Såpbubblmätare

En såpbubblmätare består av ett graderat glasrör med känd volym. Nederst på glasröret sitter en gummiblåsa som fylls med såplösning. En bit upp på glasröret finns en insugsöppning. Leds en gasström genom glasröret samtidigt som såplösning trycks upp över insugsöppningen bildas en såpbubbla (såphinna) som stiger i glasröret. Genom att ta tiden för en såpbubbla över en känd volym kan flödet beräknas. Dessa mätare med smala glasrör (volym vanligen 10, 25 eller 50 mL) används för små gasflöden samt för kalibrering av vissa membranpumpar.

H. Massflödesmätare

I en massflödesmätare bestäms temperaturen före och efter uppvärmning av luftflödet. Temperaturskillnaden är ett mått på massflödet. Massflödet är oberoende av tryck och temperatur. En massflödesmätare är kalibrerad för ett visst medium (t.ex luft). Efter elektronisk bearbetning visas flödet på digital display.

Valet av volymbestämningsmetod hänger intimt samman med den vid mätningen använda provtagningsmetodiken, eftersom stora variationer kan föreligga mellan erforderliga luftvolymmer och flödes hastigheter beroende på typ av anrikningssteg och känslighet i analysmetoden.

5.2. Provtagning

Man skiljer mellan i första hand två olika slag av provtagningsmetoder. Den första metoden, som här nedan benämns direktuppsamling, innebär att en viss volym av luften uppsamlas och förvaras i något lämpligt kärl, varifrån kända volymer kan tas ut för (t ex gaskromatografisk) analys.

Den andra provtagningsmetoden, som innebär ett anrikningsförfarande, kan utföras på olika sätt alltefter luftföroreningens art genom adsorption, filtrering eller uttvättning.

Aerosoler avskiljs på filter av olika typ eller med impingerflaska, medan gasformiga föroreningar uttvättas med gastvättflaska eller adsorberas på aktivt kol eller dylikt.

Vid planering av provtagningen måste hänsyn tas till hur låga halter i luften av ämnet ifråga man vill kunna bestämma, vilket i sin tur beror på den hygieniska gränsvärdet. Med kännedom om den slutvolym till vilken provet skall spädas samt analysmetodens känslighet räknar man ut den minsta luftvolym, som måste prov-

tas. Hänsyn måste då även tas till att man vill ha möjlighet att göra dubbelbestämning. En sådan förhandsberäkning är nödvändig för att provtagningen skall ge önskat resultat, och den förutsätter god kontakt mellan den som tar provet och analyslaboratoriet.

Litteratur

Mätmetoder för gasformiga luftföroeningar. Arbetsmiljöinstitutet Utbildning 5/1991.

5.2.1. Direktuppsamling

A. Provtagning med aluminiumplastlaminatpåsar (polyetan-Al-polyester), Saranpåsar m fl.

Med en pump pumpas luft med konstant hastighet in i en påse av lämpligt material och utförande (volym ca 5-20 liter). Beroende på den provtagningstid som önskas, kan luftflödet varieras så att påsen fylls på önskad tid. Provvolymer i påsen är av underordnad betydelse vid denna typ av provtagning. Proven kan förvaras i påsen, men förlusterna kan variera beroende på vilka lösningsmedel som skall bestämmas. Analys kan utföras gaskromatografiskt eller med IR direkt på prov från påsen eller med ampullmetodik.

5.2.2. Anrikningsmetoder

5.2.2.1. Pumpar

A. Pumpar för personburen provtagning

Pumpar till personburen utrustning för arbetshygieniska mätningar skall vara små, lätta och batteridrivna. Flera typer av sådana pumpar finns i marknaden. Om explosionsrisk kan tänkas föreligga användes endast explosionssäkra pumpar.

Flertalet pumpar för personburna utrustningar är membranpumpar. Dessa ger ett mer eller mindre pulserande flöde, som kan ge upphov till fel vid flödesmätningen. Variationer i flödet, orsakade av pumpens konstruktion, kan motverkas av en dämpdosa, som placeras i sugledningen nära pumpen. Vid användning av föravskiljare ställs högre krav på utdämpning av pulsationer i flödet.

Vissa pumpar är försedda med en inbyggd rotameter. Denna bör emellertid inte användas vid volymbestämningen. Problemet består i att det dels kan vara svårt att göra en exakt avläsning av rotametern och dels att denna ofta är dåligt kalibrerad. Ibland får rotametern arbeta vid undertryck, varvid ännu en felkälla tillkommer. Med anledning av detta rekommenderas alltid en extern rotameter för flödesmätning. Under provtagning får flödet inte variera mer än 10 % i jämförelse med flödet i början av provtagningen. Vid provtagning med föravskiljare får flödet ej variera mer än $\pm 10\%$ från märkflödet. För de idag aktuella föravskiljarna är märkflödet 1,9 l/min.

För provtagning med adsorbentrör finns det specialgjorda pumpar. De har försetts med ett räkneverk som räknar varje pumps slag. Den luftvolym som pumpas

vid varje pumpslag är konstant, förutsatt att motståndet i adsorbentröret inte är för stort.

Litteratur

EN 1232, Workplace atmospheres - Pumps for personal sampling of chemical agents - Requirements and test methods.

B. Pumpar för stationär provtagning

Vid stationär provtagning kan även nätdrivna pumpar användas. Föreligger explosionsrisk kan gasur eller rotameter användas för flödesmätning. Används gasur skall man vara uppmärksam på att luften kan expandera genom temperaturförhöjning vid passage av pumpen. Används rotameter måste en särskilt utformad anslutning utnyttjas vid flödesmätning, annars kan förluster av redan uppsamlat damm ske.

Litteratur

Krantz S, Christensson B: Mätning av damm, rök och dimma i arbetsmiljön. Utbildning 1979/6, Arbetarskyddsstyrelsen, Stockholm 1979.

5.2.2.2. Adsorption

Provtagning på fast adsorbent i kombination med kromatografisk analys är den viktigaste metodiken för mätning av organiska ämnen i arbetsplatsluft. För adsorption av gaser eller lösningsmedel kan ett flertal adsorbentmaterial användas i kombination med lösningsmedelsdesorption. Vanligast är aktivt kol. Adsorptionskolonner med aktivt kol (kolrör) finns kommersiellt tillgängliga. Det bör påpekas, att kolrör inte kan användas för provtagning av metanol och att kapaciteten är ringa för många lättflyktiga ämnen, bl a etanol, aceton och metylenklorid. Man bör vidare beakta att utbytet kan ligga långt under 100% för vissa ämnen vid lösningsmedelsdesorption från aktivt kol. För desorption av polära ämnen kan man behöva modifiera desorptionslösningsmedlet (ofta koldisulfid eller etylacetat) med något mera polärt ämne som en alkohol. Många svårflyktiga, opolära organiska ämnen har visat sig ge mycket dåliga desorptionsutbyten från aktivt kol. För dessa typer av ämnen kan man i stället använda en organisk polymer, t ex Amberlite XAD, som adsorbent. Amberlite XAD-2 och Amberlite XAD-4 är en styrenpolymerer som lämpar sig bäst för provtagning av aromatiska (opolära) föreningar och Amberlite XAD-7 är en akrylesterpolymer som lämpar sig bäst för alifatiska, polära föreningar. Adsorptionsmaterialet packas i samma typ av Adsorptionskolonner som används för aktivt kol. Adsorptionskolonner med XAD-2, XAD-4, XAD-7 med flera adsorptionsmaterial finns kommersiellt tillgängliga.

Aktiverad kiselgel kan ibland vara ett alternativ till aktivt kol. Kiselgel och aktivt kol skiljer sig i vissa avseende ifråga om affinitet till olika lösningsmedel. Vid adsorption på kiselgel får ämnets polaritet en viss betydelse. Därför är affiniteten till kiselgel låg för alkaner, något högre för alkener, aromater m fl. Alkohol slutligen har stor affinitet till kiselgel. Kiselgel används framför allt för provtagning av lättflyktiga, polära ämnen som lågmolekylära alkoholer och aminer.

Vatten har relativt stor affinitet till kiselgel, vilket kan leda till störningar vid såväl provtagning som analys. Sådana störningar har man vanligen inte vid provtagning på kol eller XAD.

Ämnen adsorberade på fasta sorbenter kan även desorberas termiskt. Denna metodik kan vara speciellt lämplig vid mätning av mycket låga föroreningshalter, samt i kombination med diffusionsprovtagning med rörformade diffusionsprovtagare. Speciell instrumentering för automatisk termisk desorption gör att sådana analyser kan automatiseras i stor utsträckning.

Litteratur

EN 1076, Workplace atmospheres - Pumped sorbent tubes for the determination of gases and vapours - Requirements and test methods

Levin, J.-O., Andersson, K., Nilsson, C.-A. Syntetiska porösa polymerer som adsorptionsmaterial vid provtagning av organiska ämnen i arbetsplatsluft. Arbete och Hälsa 1985:28.

Glover, J.H., ed., Thermal desorption in industrial hygiene and environmental analysis. Spantech Publishers, South Godstone, UK, 1991.

A. Provtagning med pump och adsorbentrör

En känd mängd luft sugas genom adsorbentröret varvid de flesta lösningsmedel i luften adsorberas. Adsorptionsmedlet överföres till en mätkolv med känd mängd lämplig desorptionsvätska (för aktiv kol ofta koldisulfid eller dimetylformamid). En del av vätskan injiceras därefter i gaskromatograf och av utslaget på gaskromatogrammet kan halterna beräknas. Adsorbenten kan även desorberas termiskt direkt in i gaskromatografen.

Provtagningsutrustningen bör i regel vara av personburen typ och av ett sådant utförande, att den kan bäras av arbetstagaren utan att arbetet hindras. Utrustningen kan bestå av:

- I. En pump för att suga luft genom adsorptionsröret.
- II En anordning för att bestämma den luftvolym som passerat kolonnen.

Pumpen bör kunna suga en luftvolym om ca 20-200 ml/min genom kolonnen och denna volym bör kunna bestämmas med en noggrannhet på 5% eller bättre. Det finns idag kommersiellt tillgängliga utrustningar för provtagning med adsorptionsrör.

Den volym luft som sugas genom ett adsorbentrör bör ej överstiga 5 liter. För att undvika förluster minskar man i vissa fall denna volym ytterligare. (För t ex vinylklorid på kol bör volymen ligga under 1,5 liter). Vanligen kan proven förvaras längre tid (2-3 veckor) utan förluster.

B. Diffusionsprovtagning

Diffusionsprovtagare eller passiva provtagare har som namnet antyder ingen pump som driver luften genom provtagaren utan gasen transporteras fram till adsorbenten under kontrollerad diffusion. Mängden gas som adsorberas per tidsenhet bestäms av provsamlarens geometri samt gasens diffusionskoefficient och koncentration i luften. Desorption och analys sker på samma sätt som beskrivits

för adsorbentrör. Diffusionsprovtagarna är små och lätta och kräver inga ytterligare anordningar för provtagningen, vilken sålunda kan genomföras utan besvär för arbetstagaren. Provtagningshastigheten är ofta endast 5-50 ml/min, vilket innebär att diffusionsprovtagaren normalt inte lämpar sig för kortidsmätningar (< 1 timme). Vid heldagsmätningar kan det erhållna värdet direkt jämföras mot det hygieniska nivågränsvärdet. Ett flertal fabrikat finns kommersiellt tillgängliga men det är viktigt att provtagaren är utvärderad på ett tillfredsställande sätt för de ämnen som provtas.

Litteratur

Berlin, A., Brown, R.H. and Saunders, K.J., eds . "Diffusive sampling. An alternative approach to workplace air monitoring". Royal Society of Chemistry, London, 1987.

EN 838, Workplace atmospheres - Diffusive samplers for the determination of gases or vapours - Requirements and test methods.

5.2.2.3. Kemosorptionsprovtagning

Många reaktiva organiska ämnen (t ex aldehyder) kan inte provtas på fast adsorbent, och provtas därför ofta med uttvättning (5.2.2.4). Sådan våtkemisk provtagning innebär många nackdelar jämfört med provtagning på fast adsorbent. För dessa ämnen kan dock provtagningen i vissa fall göras med kemosorption, dvs ämnet adsorberas på en fast adsorbent och reagerar samtidigt med ett reagens som i förväg applicerats på adsorbenten. Det på adsorbenten bildade derivatet är stabilt och kan desorberas och analyseras på vanligt sätt. Exempel på denna metod är provtagning av formaldehyd på glasfiberfilter impregnerat med 2,4-dinitrofenylhydrazin.

5.2.2.4 Uttvättning

Gaser och ångor från lättflyktiga vätskor kan absorberas i gastvättflaskor eller i vissa fall i impingerflaskor. I en gastvättflaska önskar man god kontakt i ytan mellan den gas, som skall uttvättas (absorberas) och den absorberande lösningen. Detta kan uppnås genom att gasen finfördelas, t ex i ett glasfilter i tvättflaskinsatsens mynning. Impingerflaskan, som i första hand är avsedd för aerosoler men även kan användas för gaser saknar sådan anordning och gasen leds genom ett rakt rör ned i impingerlösningen. Gastvättflaskan och impingerflaskan fylls med någon vätska, som i det första fallet skall tjäna som absorptionsmedel för gaser och ångor, och i det andra fallet skall avskilja partiklar genom impingereffekt.

En nackdel med provtagning i gastvättflaska eller impinger är att man handskas med vätska, vilket försvårar den personburna provtagningen.

5.2.2.5 Filterprovtagning

Vid provtagning av fasta aerosoler uppsamlas dessa vanligen på filter. Filtermetodiken lämpar sig i första hand för provtagning av alla typer av damm och rök men även de flesta dimmor. Typen av aerosol styr filtervalet.

Provtagningsapparaturens huvudkomponenter utgörs av pump, flödesmätare, filterkassett och filter.

Mätningarna kan utföras personburet och/eller stationärt. Vid exponeringsmätning blir arbetets karaktär avgörande för valet av mätapparatur. Vid ett stillasittande arbete kan utrustningen placeras stationärt intill arbetstagaren, medan ett mer rörligt arbete kräver att en personburen utrustning utnyttjas.

Det använda filtret utgörs vanligtvis av membranfilter av cellulosaestrar med diametern 25 eller 37 mm och porstorleken 0,8 µm. Filtret är placerat i en speciell kassett. För fibermätningar rekommenderas 25 mm filter, vilket ansluter till internationell praxis, samtidigt som hela filtret kan utnyttjas för analysen. Den insamlade dammängden bestäms genom vägning av filtret före och efter provtagningen.

För att undvika inverkan av varierande luftfuktighet, vägs filtret under konstanta betingelser vad gäller temperatur och relativ luftfuktighet (t ex 23 °C ±1 resp 50 % ± 5 % RF). Vid vägningen används dessutom en radioaktiv α-strålningskälla för att eliminera elektrostatiske laddningar hos filtret.

Efter viktbestämning av dammet kan detta bl. a. analyseras med avseende på:

Partikelstorleksfördelning

Mineralogisk sammansättning

Fiberinnehåll

Elementinnehåll

Med hjälp av lågtemperaturinaskning kan man vidare särskilja organisk och oorganisk del av provet. Då den luftmängd, som passerat filtret är känd, kan efter analys masskoncentrationen i mg/m³ beräknas.

Mikroorganismer anrikas från luft huvudsakligen efter två principer nämligen filtrering eller impaktion. Vanligtvis används 25 mm:s kassetter innehållande polykarbonat filter med porstorlek 0,4 µm vid personburen provtagning eller stationär provtagning. Filterkassetten anslutes till en pump som klarar av ett luftflöde på 1 L/min. Provtagningstiden kan variera mellan 10 minuter och 8 timmar. Valet av provtagare är också beroende på vilken halt som kan förväntas. Dvs vissa provtagare är lämpligare för mätningar i låghaltsområdet < 10⁵ medan andra är mer lämpade för höghaltsområdet dvs halter > 10⁵/m³. Man bör också beakta att vissa provtagare kan påverka mikroorganismernas viabilitet. Det är därför viktigt att dessa faktorer beaktas vid provtagningen. Skall odling av mikroorganismerna utföras efter provtagningen bör en provtagningsmetod användas som ej påverkar viabiliteten.

Analysen utförs antingen med mikroskopiska metoder för bestämning av totalantalet eller genom odling för bestämning av viabel fraktion och art av mikroorganism.

Vid provtagning av oljedimma (gäller mineralolja m fl högkokande oljor) uppsamlas denna på ett filter av glasdun i ett glasrör (inre diameter = 15 mm, längd

85 mm). Oljedimma kan också tas upp på membranfilter. Dock är överensstämmelsen mellan de båda metoderna inte alltid fullständig.

Mätningarna kan utföras stationärt och/eller mobilt, varvid arbetets karaktär blir avgörande för valet av mätapparat. Flödet skall hållas vid c:a 2-3 l/min. Lämplig provtagningstid är 30-60 minuter. Oljeanalysen utförs med IR-spektrofotometer.

Vid provtagning med föravskiljare sker fraktioneringen under provtagningen. Föravskiljare skall separera dammet enligt den s k Johannesburgskonventionen från 1959. Enligt denna konvention skall den procentuella avskiljningsgraden för olika partikelstorlekar överensstämma med nedanstående tabell.

| <u>D (µm)</u> | <u>% som passar föravskiljaren</u> |
|---------------|------------------------------------|
| 1,6 | 95 |
| 3,5 | 75 |
| 5,0 | 50 |
| 6,1 | 25 |
| 7,1 | 0 |

Där D är aerodynamisk partikeldiameter i prov. Det damm, som passerar föravskiljaren, den s k respirabla fraktionen, uppsamlas på ett 25 eller 37 mm membranfilter beroende på provtagare.

Vid bruk av föravskiljare ställs större krav på provtagningsflödet än vid provtagning enligt filtermetoden. För att en föravskiljare skall ha sin avsedda avskiljningsfunktion ställs krav på ett visst flöde (märkflöde) och på att flödet ej pulserar. För föravskiljare av typ Higgins-Dewellcyklon gäller 1,9 liter per minut som märkflöde.

Föravskiljaren bör ej avvika mer än 45 grader från vertikalt läge under provtagning. Flödet får maximalt avvika ± 10 % från märkflödet. Pumpen skall vara utrustad med dämpdosa, som effektivt utjämnar ett pulserande flöde.

Vid bestämning av halten respirabelt damm beräknas provvolymen ur märkflödet och provtagningstiden.

Rök har en medelpartikelstorlek under 1 µm och kan betraktas som respirabel, varför föravskiljare ej behöver användas vid provtagning. Förekommer damm och rök av en viss förorening samtidigt, skall om ett gränsvärde för respirabel andel finns, föravskiljare användas.

I den 1993 antagna europeiska standarden SS-EN 481, Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles (Arbetsplatsluft - Partikelstorleksfraktioner för mätning av luftburna partiklar) definieras partikelfraktionerna inhalerbar, thorakal och respirabel fraktion. Den nya respirabla konventionen avviker endast i liten omfattning från Johannesburgskonventionen. För mätning av inhalerbar fraktion finns på marknaden provtagare som utvecklats speciellt för att provta enligt den nya inhalerbara konventionen. Den inhalerbara fraktionen motsvarar inte alltid den fraktion som erhålls vid provtagning med 25 eller 37-mm filterkassett. För thorakal fraktion finns fn såvitt känt endast en provtagare kommersiellt tillgänglig (CIP-10T).

Litteratur

- Blomquist G., Sampling of Biological Particles, *Analyst*, Vol. 119, 53-56 (1994).
PrEN 1997-01-09. Workplace atmospheres - Guidelines for measurement of airborne microorganisms and endotoxin.
- Griffiths W.D. and DeCosemo G.A.L., The Assessment of Bioaerosols: A Critical Review., *J.Aerosol. SCI.*, Vol 25, No.28., (1994)
- Mätning av partiklar, Metodserien 1010, Arbetarskyddsstyrelsen 1979.
Arbetarskyddsstyrelsen, Föravskiljare 1980 (best nr H 1).
- Pamlgren U., Ström G., Blomquist G. and Malmberg P. "Collection of airborne microorganisms on Nuclepore filters, estimation and analysis - CAMNEA method." (1986) *J. Appl. Bacteriol.* 61,401-406.
- SS-EN 481, Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles (Arbetsplatsluft - Partikelstorleksfraktioner för mätning av luftburna partiklar)
- Vincent J H, *Aerosol sampling, science and practice.* John Wiley & Sons, 1989.
Vincent J H, *Aerosol science for industrial hygienists.* Pergamon, 1995.

5.3. Transport och förvaring av prover

A. Fasta ämnen

Fasta ämnen förekommer i luften i form av damm eller rök och tas i allmänhet upp på filter av olika slag. Vanligen används membranfilter av små dimensioner (25 eller 37 mm diameter), vilka förvaras i kassetter som är lätta att transportera. Om mängden damm på filtret är relativt stor, lossnar lätt en del damm från filtret under transporten. Skulle detta inträffa, måste dammet på något sätt återföras till filtret före vägningen. Om vägning ej behövs, utan t ex hela filtret skall lösas i någon syra, bör kassetten sköljas ur med litet syra, som förenas med huvudmängden.

Prover för metallanalys, liksom prover av kvarts och fibrer, kan förvaras vid rumstemperatur utan speciella försiktighetsåtgärder. Vissa ämnen kan avdunsta och/eller förstöras av ljus, varför de måste förvaras i kylskåp och i övrigt skyddas mot dagsljus. Dit hör t ex polycykliska aromatiska kolväten av typ benso(a)pyren. Prover innehållande mikroorganismer skall transporteras snabbast möjligt till laboratoriet för analys. Mikroorganismer insamlade i vätska transporteras vid +4 °C till laboratoriet. Filter skickas med post samma dag som provtagningen har utförts för att anlända till laboratoriet dagen efter. Om detta ej är möjligt lagras filterproverna vid +4 °C över natt. Undvik att skicka prover på fredagar då de blir liggande över helgen innan de distribueras till laboratoriet.

B. Vätskor

Svårflyktiga vätskor i dimform tas ofta upp på filter, antingen av membrantyp eller glasdun. Membranfilter transporteras bäst i sina hållare sedan dessa tillslutits. Även rören med glasdunfilter måste förslutas väl före transporten. Förvaringen före analysen bör ske i kylskåp. Lättflyktiga vätskor måste tas upp i impinger-flaska eller på adsorptionsrör. Se för övrigt under C nedan.

C. Gaser och ångor

Bekvämast att hantera och transportera är adsorptionsrör som förslutits väl i båda ändar med plastylsor. Rören kan skickas med vanlig post, ordentligt emballerade. I väntan på analys förvaras rören i kylskåp. De flesta lösningsmedelsprover tål att förvaras efter veckor på detta sätt utan större förluster, men lagringshållbarheten måste utprovas för varje enskilt ämne. Om provet tagits med någon "våt" metod (impinger eller tvättflaska), blir transporten besvärligare. Själva provtagningskärlet är ömtåligt och svårt att frakta. Om direkt transport från provplats till laboratorium kan ordnas, brukar kärnen förslas i särskilda transportlådor, sedan de förslutits noggrant. Man får inte vända kärnen upp och ned under transporten. Även om förslutningarna håller tätt, blir utsköljningen av en flaska som vänts besvärlig, och förluster uppstår lätt. En bättre metod är att efter provtagningen överföra kärlets innehåll till en vanlig flaska av plast eller glas med tättslutande propp. Transporten blir enklare, men om ämnet är lättflyktigt finns risk för avdunstningsförluster. Tidigare har två slags absorptionsvätskor nämnts, sådana som är rena lösningsmedel för det ämne som skall absorberas och sådana som binder ämnet genom kemisk reaktion (t ex natriumhydroxid för fluorväte). I det senare fallet är vanligen risken för avdunstningsförluster liten.

I undantagsfall måste prov på mycket flyktiga substanser tas i kylda provtagningskärn, antingen på adsorptionsrör t ex kolrör, eller i tvättflaska o dyl. I sådana fall måste provtagning, transport och förvaring fram till analysens påbörjande bilda en "kylkedja", där provets temperatur hela tiden hålls nere. Kylningen kan ske med is, köldblandning (is-koksalt) eller kolsyreis allt efter behovet av låg temperatur. Längre transporter eller långa förvaringstider före analysen kan av naturliga skäl ej komma ifråga för sådana prover. Vanligen krävs direkttransport till laboratoriet och omedelbar analys. Om temperaturen i en frysbox (ca -20 °C) är tillräckligt låg för det aktuella provet, kan dock förvaringstiden utsträckas. OBS! Risk för söndersprängning av glaskärl med vattenlösning.

Förvaring av flytande prover i väntan på analys sker vanligen i kylskåp.

Kärl med flyktiga vätskor får inte förvaras i samma kylskåp som proverna. Detta gäller speciellt kärl, som innehåller samma ämne, som skall bestämmas. Även ur väl förslutna kärl tränger så småningom en del ånga ut, och koncentrationen i ett kylskåp kan bli rätt hög efter några dygn. Ångan tar sig in i provkärnen trots deras förslutning och man kan få en kontamination, som är påvisbar med t ex gaskromatografi. Om inget "rent" kylskåp finns att tillgå, kan ibland risken för förluster vid förvaring i ett svalt och mörkt rum vara att föredra framför risken för kontamination i ett kylskåp.

Uppblåsbara påsar el dyl. är ur transportsynpunkt besvärliga. De är skrymmande och kan ej skickas med post eller järnväg. Direkt transport till laboratoriet är nödvändig. Hållbarheten hos ett sådant prov beror både på ämnet och på materialet i påsen. Några plastmaterial har visat sig särskilt användbara, såsom saran (polyvinylidenklorid) och laminat med tre skikt (polyester-aluminiumfolie-polyeten, inifrån räknat). Med tiden sjunker halten av lösningsmedelsånga i påsen, beroende på adsorption på väggarna. I allmänhet är det önskvärt att göra analysen så snart som möjligt efter provtagningen. Detta gäller i princip alla sorts prover, oavsett provtagningsmetod.

5.4. Analyser

5.4.1. Spektrofotometri

En av de viktigaste "våtkemiska" analysmetoderna grundar sig på mätning av ämnets ljusabsorption i lösning. Den lösning, som skall undersökas, befinner sig i en kyvett, dvs ett kärl av genomskinligt material med åtminstone två planparallella väggar. Från en lampa går en ljustråle genom kyvetten, där en viss del av ljuset absorberas. Den ljusmängd, som passerat kyvetten, mätes med någon detektor (fotocell, fotomultiplikator etc), som omvandlar ljuset till en elektrisk signal, vilken registreras av ett instrument (galvanometer, skrivare el dyl.). Vid mätningen användes monokromatiskt ljus, vilket åstadkommes genom att ljuset får passera en monokromator innehållande ett prisma eller ett gitter som ger ett spektrum, där de olika färgsorterna (= ljusvåglängderna) separerats. En mycket liten del av detta spektrum tas ut med hjälp av en spalt. Ett instrument som konstruerats efter dessa principer kallas spektrofotometer. Vissa instrument arbetar enbart inom den synliga delen av spektrum (ca 400-800 nm), medan andra även täcker en del av UV-spektrum (vanligen ned till ca 200 nm). Ett billigare instrument är kolorimetern, där den dyrbara monokromatorn är utbytt mot en serie färgfilter, som någorlunda täcker det synliga spektrum. Ett filter genomsläpper ett betydligt bredare spektralområde än en monokromator, vilket innebär ökad risk för störningar. För de flesta rutinändamål kan dock med fördel kolorimetern användas.

Spektrofotometri medger ej någon absolutbestämning av det lösta ämnets koncentration (som t ex titrering), utan man gör en relativbestämning genom jämförelse med lösningar med känd halt. Man gör vanligen upp en serie sådana lösningar och mäter deras absorbans. Absorbansen sätts sedan upp i ett diagram som funktion av koncentrationen, och i denna kalibreringskurva avläses de okända provlösningarnas koncentrationer.

Spektrofotometrisk analys förutsätter att det sökta ämnet har ljusabsorption. Av de ämnen som har arbetshygieniskt intresse är de färgade i minoritet. Man söker då i stället att utnyttja någon känd färgreaktion med något reagens.

Om man utsträcker mätningen till UV-området, visar betydligt flera ämnen egen ljusabsorption. För vårt öga färglösa ämnen, som aromatiska kolväten (bensen, toluen etc) har en kraftig ljusabsorption i UV-området. Men samtidigt ökar risken för störningar från andra ämnen i lösningen. Man måste naturligtvis välja ett lösningsmedel, som har låg UV-absorption. En del alifatiska kolväten är lämpliga härtill.

Vad som sagts här om Spektrofotometri i det synliga området och i UV-området gäller i stort sett även det infraröda (IR) området. En IR-spektrofotometer skiljer sig från ett UV-instrument genom att ljuskällan, optiken, detektorn och kyvetten är avpassade för ett annat våglängdsområde, men principen är densamma. IR-spektra visar karakteristiska maxima, som motsvarar olika atomgrupperingar i molekylen. De är en god hjälp vid identifiering av okända organiska ämnen. Ett viktigt område för kvantitativ analys med IR-absorption är bestämning av alifatiska kolväten, t ex i oljedimma.

Litteratur

Ewing GW. Instrumental methods of chemical analysis. 5. Ed., McGraw Hill, New York, 1985.

5.4.2. Atomabsorption

Atomabsorptionsanalys är en av de vanligaste metoderna för bestämning av små mängder metaller i både oorganiskt och organiskt material. Metoden utmärker sig för snabbhet, enkelhet i utförandet, hög känslighet och selektivitet samt är relativt fri från störningar från andra ämnen.

Atomabsorptionsanalys utföres på följande sätt:

Provlösningen sprayas i finfördelad form in i en låga (vanligen acetylen/luft), där inom bråkdelen av en sekund i tur och ordning följande inträffar.

- I. Lösningsmedlet (i regel vatten eller utspädd syra) avdunstar.
- II. Metallsalterna upphettas så högt, att det bildas fria metallatomer.
- III. Metallatomerna i lågan exciteras genom bestrålning med ljus från en hålkatod-lampa, som innehåller den aktuella metallen. Lampan utsänder ett för metallen karakteristiskt linjespektrum, och vissa av dessa våglängder kan absorberas av de fria metallatomerna, som därvid exciteras. Lämplig våglängd utväljes med monokromator. Ljusabsorptionen registreras av en detektor, som ger signal till ett avläsningsinstrument eller en skrivare.

Genom jämförelse med lösningar av känd halt av den sökta metallen kan resultatet utvärderas kvantitativt.

Känsligheten hos atomabsorptionsanalysen är högre än hos de flesta kemiska analysmetoder. I den insprutade lösningen kan vanligen 0,005-0,1 µg/ml detekteras, olika för olika metaller och apparater. Vid analysen förbrukas vanligen 2-5 ml provlösning för varje metall som man vill bestämma. Dessa förutsättningar är viktiga att känna till vid planering av provtagningen. Någon separation av olika metalljoner i provet för analysen behövs vanligen ej. Det finns dock åtskilliga exempel på störningar av olika joner. I undantagsfall kan också olika metaller

inverka på varandras bestämning. Tänkbara störningar måste studeras då man planerar en analysmetod. Här kan endast hänvisas till originallitteraturen. Viktigast av allt är att standardlösningarna, som används vid kalibreringen, innehåller samma "matris" som provlösningarna, dvs övriga närvarande ämnen måste vara så lika som möjligt. Man får t ex inte kalibrera provlösningar med hög halt av syra mot standardlösningar i rent vatten.

På senare år har sk flamlös atomabsorptionsteknik kommit till allt större användning. En liten mängd provlösning sätts i ett grafitkärn ("grafitugn") och i provet ingående metaller förångas vid elektrisk uppvärmning av grafitugnen till 2000-2500 °C. Med denna teknik har detektionsgränsen för många metaller kunnat sänkas flera tiopotenser, jämfört med den konventionella flamtekniken.

Litteratur

Tsalev DL och Zaprianov ZK. Atomic analytical aspects and health significance. CRC Press Inc., Boca Raton, Fla, USA, 252 pp., 1983.

Tsalev DL. Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice, Vol 2: Determination of Individual Elements. CRC Press Inc., Boca Raton, Fla, USA, 295 pp., 1984.

5.4.3. Fluorimetri

Om ljus passerar genom en lösning av ett ämne, absorberas vissa våglängder (absorptionsband) av det lösta ämnets molekyler. Dessa exciteras härigenom, dvs elektronerna "lyfts" upp till en högre energinivå. Efter en mycket kort tidsperiod (10^{-8} - 10^{10} s) avges en del av den absorberade energin genom att molekylen utsänder ljus, vars våglängd är längre än det infallande ljusets. Detta utsända ljus, som sprids i alla riktningar, kallas fluorescensljus. För låga koncentrationer är fluorescensljusets intensitet proportionellt mot det fluorescerande ämnets koncentration, vilket möjliggör kvantitativ bestämning. Analysmetoden kallas fluorimetri. Vid högre koncentration upphör lineariteten, beroende dels på absorption av infallande ljus, dels på energiförlust på annat sätt än genom fluorescens (t ex kollision mellan molekyler). Det sistnämnda fenomenet kallas på engelska "quenching".

En fluorimeter påminner till sin konstruktion om en spektrofotometer. Det exciterande ljuset (t ex från en kvicksilverlampa) faller in i en kyvett, som innehåller lösningen. Fluorescensljuset, som emitteras från lösningen, tas vanligen ut genom kyvettens botten eller i sidled, vinkelrätt mot det infallande ljuset. Det får sedan passera genom en monokromator, som inställes på den våglängd, där fluorescensljuset är starkast. I enklare instrument användes färgfilter i stället för monokromator. Varje ämne uppvisar ett karakteristiskt fluorescensspektrum med en eller flera toppar. Ljusenergin mätes på vanligt sätt med en detektor, som ger signal till något mätinstrument. Intensiteten av fluorescensljuset är många tiopotenser svagare än det exciterande ljusets.

Fluorimetri är en mycket känslig analysmetod. Många ämnen kan bestämmas i halter ned till några ng/ml. Man måste dock övertyga sig om att man befinner sig

inom området för linearitet vid mätningen, annars kan helt missvisande resultat erhållas. Lösningemedlet kan i många fall påverka fluorescensen. Olika ämnen i lösningen kan även inverka på varandras fluorescens i högre koncentration genom quenchingfenomenet.

För noggrannare studium av fluorescens fordras en spektrofluorimeter, i vilken man kan variera även det exciterande ljusets våglängd godtyckligt. Ljuskällan måste här vara kontinuerlig, t ex en xenonlampa. Om fluorescensen mäts vid bästa våglängd och den exciterande våglängden varieras, får man ett excitation- och aktiveringsspektrum, som även är karakteristiskt för molekylen. Topparna i detta spektrum återfinns alltid i absorptionsspektrum för ämnet, eftersom endast absorberat ljus kan ge fluorescens. Vanligen ligger excitationstopparna inom UV-området, medan fluorescensljuset kommer inom våglängdsområdet för synligt ljus.

De ämnen, som kan bestämmas med fluorimetri är i första hand många omätta- de organiska ämnen, alltså aromater eller alifater med omättade bindningar. Indirekt kan även metaller bestämmas genom att de påverkar ett fluorescerande reagens. För beryllium kan man med fluorescens uppnå högre känslighet än med atomabsorption. Polycykliska aromatiska kolväten, såsom benzo(a)pyren lämpar sig särskilt bra för fluorimetri.

Litteratur

Hercules DM. Fluorescence and phosphorescence, Interscience Publ., New York, 1966.

5.4.4. Röntgenfluorescens

Röntgenfluorescens, som används för metallanalys, bygger på principen att en infallande energirik elektron, proton- eller röntgenstrålning exciterar elektroner hos elementen i provet till högre instabila energinivåer i elektronskalan. När elektronerna återgår till grundtillståndet, utsändes sekundärt en karakteristisk röntgenstrålning (fluorescens). Denna registreras endera via en mångkanalanalysator (energidispersiv röntgenfluorescens) eller via en analyskristall där intensitetsfördelningen som funktion av våglängden bestäms med en detektor (våglängdsdispersiv röntgenfluorescens). Med denna information kan de i provet ingående elementen identifieras och även analyseras kvantitativt, då ett samband finns mellan intensiteten av den för elementet karakteristiska fluorescensstrålningen och mängden av elementet i provet.

Tekniken att använda röntgenfluorescens för elementaranalys erbjuder en unik möjlighet genom att provet ej förstörs. Vidare kan alla element utom de allra lättaste identifieras. En kvantitativ analys kan givetvis även utföras av elementen om lämpliga referensmaterial finns eller om en korrektionsberäkning utförs. Genom att man vid ett analystillfälle får ett mått på en hel serie element, erbjuder metoden en bred och snabb information om provinnehållet.

En speciell röntgenfluorescenssteknik för analys av partikulära luftföroreningar är den så kallade PIXE-metoden. Här används energirika protoner eller α -partiklar för att få provet att sända ut karakteristisk röntgenfluorescensstrålning som sedan detekteras via en mångkanalanalysator. Bakgrunden av störningar är mycket låg och man har en snabb och extremt känslig metod att utföra multielementanalyser.

Litteratur

Bertin E P. Principles and practice of X-ray spectrometric analysis. Second Ed., Plenum Press, New York, 1975.
Johansson SAE, Cambell JL. PIXE - A novel technique for elemental analysis. John Wiley & Sons 1988.

5.4.5. Gaskromatografi

Gaskromatografen (GC) tillhör de kromatografiska separationsmetoderna. Med dessa skiljer man komponenterna (framför allt organiska ämnen) i en blandning från varandra så att mängden av varje komponent kan bestämmas. Allmänt har man i ett kromatografiskt system en stationär och en rörlig fas, som inte löser sig i varandra. De olika molekylslagen i ett infört prov fördelar sig mellan de två faserna, varvid ämnen med större benägenhet att lösa sig i den stationära fasen transporteras igenom systemet med lägre hastighet än sådana ämnen, som föredrar den rörliga fasen.

I GC består den stationära fasen av en svårflyktig vätska på en inert stödfas eller på väggarna av en kapillär. Den rörliga fasen är gasformig. Med GC kan man göra kvantitativ analys av alla ämnen, som kan bringas i gasform på ett reproducerbart sätt - oförändrade, i form av flyktiga derivat eller mer sällan sönderdelade genom pyrolys.

Gaskromatografens viktigaste del är kolonnen av glas (kvarter) som innehåller ovan beskrivna kromatografiska system. Den är placerad i en noggrant termostaterad ugn och är kopplad till en anordning för införande och förgasning av prov. Detta sker vanligen genom insprutning med injektionsspruta av vätske- eller gasformigt prov i ett uppvärmt så kallat injektionsblock. Kolonnen genomströmmas av en inert så kallad bärgas, oftast kvävgas eller helium. I utloppsändan sitter en detektor, som avkänner förändringar i bärgasens sammansättning och omvandlar dessa till elektriska signaler som, eventuellt efter förstärkning, matas ut på en registreringsanordning, vanligen en elektronisk integrator.

Av detektorer finns flera typer. Allmänt användbara men relativt okänsliga, är varmtråds- och termistordetektorerna (TCD). Dessa reagerar på förändringar i bärgasens värmeledningsförmåga. För organiska ämnen, särskilt i låg koncentration, begagnas oftast flamjonisationsdetektorn (FID), som bygger på jonisering av provkomponenterna då de förbränns i en liten vätgaslåga. Bland selektiva detektorer kan nämnas elektroninfångningsdetektorn (ECD). Denna utnyttjar vissa, speciellt halogenhaltiga, ämnens affinitet till elektroner. Den innehåller en radioaktiv källa (tritium eller nickel-63), som avger ett visst elektronflöde. Man får en vilostöm som minskar då exempelvis ett klorerat kolväte inkommer i detektorn. TCD

kan användas i promilleområdet, FID i ppm-området och ECD kan för vissa ämnen användas för att detektera ännu lägre halter.

Det bör påpekas att GC-metoden inte är helt specifik. Ämnen som vandrar med samma hastighet genom kolonnen separeras inte. Vid analys av prov med helt eller delvis okänt innehåll krävs i regel arbete med flera olika kolonner med olika separationskaraktär (olika stationär fas). I kombination med masspektrometer kan man med GC göra säkra identifieringsanalyser.

Inom yrkeshygienen kan man använda GC-tekniken då det gäller bestämning av allehanda ångor och gaser i luften i arbetslokalen. Vidare kan man undersöka blod, urin och utandningsluft för att bedöma graden av påverkan genom mätning av halt av ursprungligt agens och/eller ämnesomsättningsprodukter (metaboliter) härav. Lösningssmedel, färg och lack rengöringsmedel och lim är produkter, som kan undersökas med avseende på halt av sådana ämnen som kolväten, alkoholer, etrar, ketoner, klorerade kolväten etc.

Litteratur

Poole CF och Poole SK. Chromatography today. Elsevier, Amsterdam, 1991.

5.4.6. Vätskekromatografi

För analys av svårflyktiga eller termolabila organiska föreningar används numera i stor utsträckning vätskekromatografiska metoder. Av de olika vätskekromatografiska teknikerna skall här endast högtrycksvätskekromatografi (HPLC High Performance Liquid Chromatography) beröras. Principen liknar den för gaskromatografi med den skillnaden att den rörliga fasen utgörs av en vätska, som under tryck pressas genom den med finkornigt material packade kolonnen. En lösning av provet injiceras och förs av den rörliga fasen genom kolonnen. Kolonnmaterialiet skall vara olösligt i den rörliga fasen och påverka komponenterna i provet så att de är väl separerade när de lämnar kolonnen.

Separationen kan ske efter följande principer: Adsorption, fördelning, jonbyte och förträngning. Vid adsorptionskromatografi adsorberas provet till den stationära fasen, som ofta utgörs av kiselgel eller aluminiumoxid. Provets komponenter adsorberas olika hårt och följer därför den rörliga fasen med olika hastighet, vilket ger den eftersträvade separationen.

Fördelningskromatografi bygger på de lösta ämnenas (provets) fördelning mellan två icke blandbara vätskor. Den ena vätskan är fast fixerad på ytan av en inert bägare och den andra fungerar som rörlig fas. "Normal" fördelningskromatografi (Normal Phase) kännetecknas av att den stationära fasen är mer polär än den rörliga. Det omvända förhållandet (Reversed Phase) med en mera polär rörlig fas är en ofta använd teknik.

I jonbyteskromatografi utnyttjas kolonnens jonbytande egenskaper, och när separationen sker efter molekylstorlek kallas detta förträngningskromatografi. I sistnämnda fall består kolonnen av en porös gel. Små molekyler kan tränga in i gelkornen och blir på detta sätt mer fördröjda än stora molekyler som passerar fritt

mellan kornen. Efter kolonnpassagen förs de separerade komponenterna med den rörliga fasen till en detektor som vanligen registrerar förändringar i ljusabsorptionen inom UV-området när provets komponenter passerar. Detektorn kan också baseras på andra fysikaliska principer t ex brytningsindex, fluorescens eller elektrokemisk potential.

Litteratur

Lindsay, S., High Performance Liquid Chromatography, John Wiley & Sons, Chichester 1992.

5.4.7. Isotakofores

Att med hjälp av elektrisk ström separera en blandning av joner i lösning har länge utnyttjats inom elektroforetisk teknik. Vid isotakofores (ITP) sker elektroforesen i ett diskontinuerligt elektrolytsystem. I ett sådant system har man två olika buffertlösningar som, vanligen via en smal kapillär av teflon, står i kontakt med varandra. I ändarna av kapillären finns elektrodkärlen med platinaelektroder. Den ena elektrolyten, ledande elektrolyt, innehåller joner med hög nettomobilitet (= rörlighet i elektriskt fält) och den andra, terminerande elektrolyt innehåller sådana med låg nettomobilitet. Båda har dessutom en gemensam motjon. I gränssytan mellan de två elektrolytlösningarna införs en lösning av provet. Mobiliteten hos de joner i provet som skall analyseras skall vara lägre än mobiliteten hos jonerna i ledande elektrolyt, men samtidigt högre än för jonerna i den terminerande elektrolyten. När strömmen sluts startar en jonvandring och de olika jonerna börjar rada upp sig efter inbördes mobilitetsskillnader. Vid jämvikt kommer de separerade jonerna att som ett "jontåg" röra sig med lika hastighet (= isotacho) genom kapillären. Inom zonen för ledande elektrolyt är fältstyrkan lägst. Sedan ökar den språngvis inom varje följande zon för att vara högst i terminerande elektrolyt. Dessa fältstyrkeförändringar förhindrar diffusion och ger ett separationsmönster med klart avgränsade zoner som bildats enbart av ämnen som har laddning vid det pH som råder i elektrolytsystemet.

I slutet på kapillären passerar zonerna ett detektorsystem. Antingen kan detekteringen göras genom mätning av ljusabsorption inom UV-området eller genom mätning av den skillnad i konduktivitet som olika jonslag ger vid passage förbi två (isotakoferogram) på ett skrivarpapper. Den uppritade nivån i förhållande till baslinjen är karakteristisk för ämnet och talar alltså om vilket slag av jon man har separerat, och zonen längd är proportionell mot mängden detekterad substans och uppmäts vid kvantifiering av ämnet.

ITP kan användas för alla vattenlösliga ämnen som kan bilda joner (t ex metallsalter, organiska syror och baser, aminosyror, peptider, proteiner). Känsligheten hos ITP kan för närvarande ej mätas sig med t ex gaskromatografi men är tillräcklig för de mätningar som är aktuella inom det arbetshygieniska området.

Litteratur

Hjalmarsson SG och Baldesten AA. Critical review of capillary isotachopheresis. CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry, July 1981, 261-351.

5.4.8. Masspektrometri

Masspektrometri (MS) är en analysmetod, som har stor användning för identifiering av organiska ämnen. Vanligen används den i kombination med gaskromatografi eller vätskekromatografi. Kombinationen kromatografi-masspektrometri är den säkraste metodik vi fn har för samtidig identifiering och kvantifiering av komponenterna i en blandning.

Masspektrometerns konstruktion skiljer sig avsevärt från andra spektrometerkonstruktioner. Dess huvuddelar är jonkällan, massanalysatorn och detektorn. Instrumentet arbetar i högvakuum. En masspektrometer fungerar i princip så, att den organiska förening som skall analyseras förs in i jonkällan där den bombarderas av energirika elektroner som slår sönder molekylerna i ett stort antal fragment, positiva, negativa och oladdade.

Två typer av masspektrometer används vid analys av organiska föreningar, magnetiska masspektrometern och quadrupolmasspektrometern.

A. Magnetisk masspektrometer

I den magnetiska masspektrometern accelereras de bildade positiva jonerna i ett elektriskt fält in i ett analysatorrör, där de passerar genom ett magnetfält. Vid passagen av det magnetiska fältet kommer jonerna att avböjas olika mycket beroende på förhållande m/z , där z är laddningen (elektronens laddning = 1) och m massan. Genom att variera magnetfältet kan man således få joner med olika massa-laddningsförhållanden (m/z) att i tur och ordning träffa detektorn och registreras. På detta sätt erhåller man ett masspektrum. För registrering av masspektra finns mer eller mindre avancerad elektronik samt datorer.

B. Quadrupolmasspektrometer

I quadrupolmasspektrometern acceleras de bildade jonerna longitudinellt mellan fyra hyperboliska stavar (sk massfilter). Här sker masseparationen när de joniserade partiklarna får passera ett i tiden varierande elektriskt fält. Fältet är uppbyggt av ett Dc- och ett Ac-fält som genom växelverkan ger massfiltret dess selektivitet. Endast joner med ett givet m/z förhållande kommer att passera genom massfiltret och endast dessa joner kommer att detekteras.

Ett masspektrum innehåller ofta "molekyljonen" som bildats genom att en elektron avlägsnats från den ursprungliga molekylerna, samt jonfragment som uppstått genom att molekylerna vid jonisationen sönderfallit i mindre, laddade och oladdade fragment. Detta spektrum av olika fragment är karakteristiskt för ämnet ifråga och tjänar till att identifiera det. Det finns bestämda samband mellan molekylstrukturen och bildningen av jonfragment. Styrkan i metoden ligger i möjligheten till analys av blandningar, där man inte känner alla komponenter. En annan potentiell användning är produktkontroll. Ofta stöter man i arbetslivet på tekniska preparat

som är ofullständigt deklarerade. Masspektrometern kan här i många fall åstadkomma analyser som inte kan göras med någon annan metod inom rimlig tid.

Känsligheten hos masspektrometern är hög. Den kan arbeta i ng-pg-området. För fullständig identifiering av okända substanser krävs dock något större mängder.

Litteratur

Rose E och Johnstone RAW. Mass spectrometry for chemists and biochemists. Cambridge University Press 1982.

5.4.9. Röntgendiffraktometri

Röntgendiffraktometri bygger på principen att röntgenstrålar reflekteras av kristallina ämnen och att ett samband föreligger mellan strålens våglängd, glansvinkel och kristallens gitteravstånd. Vidare ger intensiteten av de reflekterande strålarna information om mängden kristallin substans.

Vid dammanalys används sk pulverröntgendiffraktometri. Med avseende på preparationsmetod finns endast ett mindre antal lämpliga alternativ för kvalitativ och kvantitativ bestämning av kristallin kiseldioxid i luftprov. Rutinmässigt utnyttjas en sk tunnskiktsteknik vid analysen. Provet överförs på en kristallin bärare, t ex ett membranfilter av rent silver. Bärarens röntgenintensitet mäts före respektive efter beläggning med prov för korrektion av absorptionsfenomen. De kristallina komponenternas intensiteter registreras och korrigeras innan massan framräknas från en standardkurva. Prov och standard utgörs av partiklar med fallhastighetsekvivalenta diametern mindre än 8,1 µm.

Litteratur

Krantz S och Habermann H. Utveckling av en metod för direktanalys av kvarts på membranfilter. Undersökningsrapport AMTE 106/74, Arbetarskyddsstyrelsen, 1974.

5.4.10. Mikroskopi

Med mikroskopi kan partiklars storlek och geometriska form bestämmas. Detta utnyttjas rutinmässigt för fiberräkning av asbestdamm samt syntetiska fiberprover. Dammprov insamlas på membranfilter som placeras på objektglas och görs transparenta. Därefter betraktas provet i ett ljusmikroskop med faskontrast-tillsats vid 500 ggr förstoring. Faskontrast ger en förhöjd kontrast och gör att mycket små partiklar lättare kan observeras än med ett vanligt ljusmikroskop. Fiberbestämning tillgår så, att alla fibrer med förhållandet längd/bredd >5 och fiberbredden ≤ 3 µm samt längden ≥ 5 µm räknas.

Vid sidan om ljusmikroskop används även elektronmikroskop för partikelräkning och partikelstudier. Elektronmikroskopet ger högre förstoring och bättre upplösning. Fiberräkning utförs inte i elektronmikroskop när mätning mot gränsvärdet

avses, då gällande gränsvärde är baserat på den upplösning som ett faskontrastmikroskop ger vid 500 ggr förstoring.

Litteratur

Svensk Standard SS 02 84 18.

Asbest. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling AFS 1992:2

Syntetiska oorganiska fibrer. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling AFS 1990:9.

5.4.11. Lågtemperaturinaskning

För att bestämma mängden organiskt material (oselektivt) alternativt eliminera för analys störande organiska komponenter används ett s k lågtemperaturinaskningsförfarande. Detta genomförs med ett system, där under vakuum syrgas spjälkas till reaktivt, atomärt syre. I denna miljö kommer allt organiskt material att oxideras ("förbrännas"). Med detta system kan temperaturen hållas relativt låg och överstiger sällan vid normal användning 200 °C.

Vid analys av kristallin kiseldioxid (kvarts, kristobalit och tridymit) med röntgendiffraktometri användes inaskningsförfarandet rutinmässigt för att eliminera provtagningsfiltret samt eventuella organiska ämnen som kan störa röntgenanalysen.

Litteratur

Ekström T och Krantz S. Förbränning av dammprovtagna filter med lågtemperaturinaskning för analys av kristallin kiseldioxid.

Undersökningsrapport 1979:16. Arbetarskyddsstyrelsen.

6. Metodlista

I följande lista över bestämningsmetoder för luftföroreningar med gränsvärden anges för varje ämne även CAS-nummer och år för införande av gränsvärdet. I listan anges en eller flera metoder som syftar till kvantitativ bestämning av respektive ämne i koncentrationer omkring hygieniska gränsvärdet. I första hand har metoder lämpliga för personburen exponeringsmätning tagits med. Den utrustning som behövs för provtagningen är som regel kommersiellt tillgänglig.

Att en metod refereras i listan innebär inte att just denna metod måste användas för den aktuella mätningen. Då fler än en metod angivits, har detta skett utan rangordning med avseende på lämplighet. Observera också att metoderna inte är undersökta m a p "overall uncertainty" enligt europastandarden EN 482, "General requirements for the performance of procedures for workplace measurements." Se avsnittet rörande kvalitetssäkring.

Vid adsorbentprovtagning anges i listan som regel endast typ av adsorbent i form av adsorbentrör för pumpad provtagning. I många fall kan provtagningen även göras med diffusionsprovtagare om sådan finns tillgänglig och bedöms vara tillfredställande utprovad för ämnet ifråga. Se avsnitten om kvalitetssäkring och diffusionsprovtagning.

För många oorganiska gaser och organiska ämnen finns generellt användbara direktvisande instrument vilka kan ifrågakomma för vissa mätsituationer. För ett flertal ämnen finns direktvisande ampullmetoder. Dessa är som regel inte lämpliga för exponeringsmätningar. För upplysningar rörande kommersiellt tillgängliga direktvisande instrument och analysampuller hänvisas till respektive tillverkare.

Referenserna i metodlistan är av olika slag:

1. M XXXX hänvisar till respektive metod i Metodserien, Arbetskyddsstyrelsen/Arbetslivsinstitutet, Stockholm.
2. N Vol. X, hänvisar till respektive metod i NIOSH Manual of Analytical Methods, Vol 1-7, 2nd ed., NIOSH, Cincinnati, Ohio, USA, 1977-1981.
3. N XXXX hänvisar till respektive metod i NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd ed., NIOSH, Cincinnati, Ohio, USA, 1984, med uppdateringar. Ett fåtal av dessa metoder kan laddas ner via internet från NIOSH, internetadress <http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>
4. O XX hänvisar till respektive metod i OSHA Analytical Methods Manual, OSHA, Salt Lake City, Utah, USA. Metoderna kan laddas ner från OSHA, internetadress <http://www.osha.gov/>
5. IMIS XXXX hänvisar till metoder i OSHAs databas Chemical Sampling Information. Databasen kan sökas i på internet, internetadress som under punkt 4 ovan. Finns även på CD-ROM på Arbetslivsinstitutets bibliotek. Dessa metoder är ofta ofullständigt validerade.
6. Övriga referenser hänvisar till referenslistan.

Analysmetoder anges i listan med följande förkortningar:

A = Atomabsorption
DPP = Differentialpotentialpolarografi
E = Emissionsspektroskopi
F = Fluorimetri
Fr = Fiberräkning
G = Gaskromatografi
I = Isotakofores
ICP = Induktivt kopplad plasma
J = Jonspecifik elektrod
Jk= Jonkromatografi
K = Kolorimetri
M = Mikroskopi
RD = Röntgendiffraktion
RF = Röntgenfluorescens
S = Spektrofotometri
T = Titring
V = Vätskekromatografi
Vg = Vägning
VM = Vätskekromatografi - masspektrometri

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---|--------|--------------|
| Acetaldehyd (1990) [75-07-0] | SEP-PAK med DNF | V | 41 |
| | XAD-2-rör med 2-HMP | G | N 2538 |
| Acetamid (1993) [60-35-5] | Diffusionsprovtagare med DNF-impregnerat filter | V | 24 |
| | Silikarör | G | IMIS A625 |
| Aceton (1993) [67-64-1] | Kolrör | G | N 1300 |
| Acetonitril (1993) [75-05-8] | Kolrör (stort) | G | N 1606 |
| Akrolein (1974) [107-02-8] | SEP-PAK med DNF | V | 37 |
| | XAD-2-rör med 2-HMP | G | N 2501 |
| Akrylamid (1993) [79-06-1] | Glasfiberfilter + silikarör | G | O 21 |
| Akrylnitril (1993) [107-13-1] | Kolrör | G | N 1604 |
| Akrylsyra (1987) [79-10-7] | 2 st Anasorb 747-rör | V | IMIS 0117 |
| Allylalkohol (1993) [107-18-6] | Kolrör | G | N 1402 |
| Allylamin (1984) [107-11-9] | Diffusionsprovtagare med NIT-filter | V | 21 |
| Allylklorid (1993) [107-05-1] | Kolrör | G | N 1000 |
| Aluminium, lösliga föreningar (1996) | Membranfilter (urlakning med vatten) | A,E | N 7013 |
| Aluminium, metall och oxid (1996) totaldamm respirabelt damm [7429-90-5,1344-28-1] | Membranfilter | A,E | N 7013 |
| | Membranfilter med föravskiljare | A,E | 9 |
| Ammoniak (1990) [7664-41-7] | Stödplatta med fosforsyra | Jk | 31 |
| | Supelco ORBO-77-rör | Jk | IMIS 0170 |
| Amylacetat, alla isomerer (1987) | Kolrör | G | N 1450 |
| Anilin (1993) [62-53-3] | Silikarör | G | N 2002 |
| | XAD-7-rör med fosforsyra | G | IMIS 0220 |
| Antimon och oxider (som Sb) (1974) [7440-36-0, metallen] | Membranfilter | A,RF | O 121, 25 |
| | Membranfilter med föravskiljare | A,RF | 9,25 |
| Antimonväte (1974) [7803-52-3] | Silikarör med HgCl ₂ | K | N 6008 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|--|--|-------------|----------------------------|
| Arsenik och oorg föreningar utom arsenikväte (som As) (1987) [7440-38-2, metallen] | Membranfilter | A,K,RF | N 7900 N 7901 25 |
| Arsenikväte (1990) [7784-42-1] | Kolrör | A | N 6001 |
| Asbest utom krokidolit (1993) [12001-29-5, krysotil] | Membranfilter | M | 36 |
| Avgaser (1990) för kolmonoxid för kvävedioxid | Direktvisande diffusionsrör Diffusionsrör med TEA Gastvättflaska med reagens | - S K | 11 N 6700 M 1004 |
| Barium, lösliga föreningar (som Ba) (1990) | Membranfilter | A | N 7056 |
| Bensen (1990) [71-43-2] | Kolrör | G | N 1500 |
| Bensin, flyg-, motor-, reabensin, industri- (1989) -hexantyp -heptantyp -oktantyp | Kolrör Kolrör Kolrör | G G G | N 1500 N 1500 N 1500 |
| p-Bensokinon (kinon) (1978) [106-51-4] | Filter med KMnO ₄ + XAD-2-rör | V | 15 |
| Benso(a)pyren (1993) [50-32-8] | Glasfiberfilter | F,V | M 1011,7 |
| Bensylbutylftalat (1987) [85-68-7] | Membranfilter | G | N 5020 |
| Bensylklorid (1978) [100-44-7] | Kolrör | G | M 1017 |
| Beryllium och föreningar (som Be) (1987) [7440-41-7, metallen] | Membranfilter | E,A | N 7102 |
| Bifenyl (1974) (difenyl) [92-52-4] | Tenax GC-rör | G | N 2530 |
| Bly och oorg föreningar (som Pb) (1993) totaldamm | Membranfilter | A,RF | N 7082 25 |
| respirabelt damm [7439-92-1, metallen] | Membranfilter med föravskiljare | A,RF | 9,25 |
| Bly, org föreningar, se tetraetylblead och | | | |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---|--------|------------------|
| tetrametylbly | | | |
| Bomullsdamm (1974) (råbomull) | PVC-filter | Vg | IMIS 735 |
| Borax (1978) (natriumtetraborat- dekahydrat) [1303-96-4] | Membranfilter | K | M 1028 |
| Brom (1974) [7726-95-6] | Gastvättflaska med reagens | J | O 108 |
| 2-Brom-1,1,1-trifluor- 2-kloretan (1990) (halotan, Fluothane) [151-67-7] | Kolrör | G | O 29 |
| 1,3-Butadien (1993) [106-99-0] | Kolrör | G | N 1024 |
| n-Butanol (1989) (n-butylalkohol) [71-36-3] | Kolrör Kolrör | G G | N 1401 N 1401 |
| Butanoler (butylalko- holer) utom n-butanol (1987) [78-92-2, 75-65-0] | Kolrör | G | N 1401 |
| 2-Butoxietanol (1993) (butylglykol, etylen- glykolmonobutyleter) [111-76-2] | Kolrör | G | N 1403 |
| 2-Butoxietylacetat (1993) (butylglykolacetat, etylengly- kolmonobutyleteracetat) [112-07-2] | Kolrör | G | N 1450 |
| Butylacetat, alla isomerer (1989) | Kolrör | G | N 1403 |
| Butylakrylat (1987) [141-32-2] | XAD-7-rör | G | 3 |
| n-Butylalkohol (1989) (n-butanol) [71-36-3] | Kolrör | G | N 1401 |
| Butylamin (1984) [109-73-3] | Diffusionsprovtagare med NIT- impregnerat filter | V | 21 |
| n-Butylglycidyleter (1981) [2426-08-6] | Kolrör | G | 17 |
| Butylglykol (1993) (etylenglykolmono- butyleter, 2-butoxietanol) | Kolrör | G | N 1403 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|--|------------------------------------|--------|--------------|
| [111-76-2] | | | |
| Butylglykolacetat (1993) (etylenglykolmonobutyl- eteracetat, 2-butoxietyl- acetat) [112-07-02] | Kolrör | G | N 1450 |
| Butyllaktat (1996) [138-22-7] | Kolrör | G | IMIS 0478 |
| n-Butylmetakrylat (1987) [97-88-1] | XAD-7-rör | G | 3 |
| CFC 11 (Freon 11, triklorfluormetan) (1984) [75-69-4] | Kolrör (stort) | G | N 1006 |
| CFC 12 (Freon 12, diklordifluormetan) (1984) [75-71-8] | Kolrör (stort) | G | N 1018 |
| CFC 22 (Freon 22, klordifluormetan) (1984) [75-45-6] | Kolrör (stort) | G | N 2516 |
| CFC 113 (Freon 113, 1,1,2-triklor- 1,2,2- trifluoretan) (1981) [76-13-1] | Kolrör | G | N 1020 |
| Cementdamm (1981) totaldamm | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| respirabelt damm | Membranfilter med föravskiljare | Vg | 9 |
| Cyanider och cyanväte totalt (som CN) (1974) [74-90-8, cyanväte] | Gastvättflaska med natriumhydroxid | K | M 1014 |
| Cyanklorid (klorcyan) (1978) [506-77-4] | Ampull | | 10 |
| Cyklohexan (1987) [110-82-7] | Kolrör | G | N 1500 |
| Cyklohexanol (1978) [108-93-0] | Kolrör | G | N 1402 |
| Cyklohexanon (1989) [108-94-1] | Kolrör | G | N 1300 |
| Cyklohexylamin (1993) [108-91-8] | Silikarör | G | N Vol. 1 |
| Cymen (1984) (metylisopropylbensen) | | | |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---|--------|--------------|
| [99-87-6] | | | |
| Damm (1974) | | | |
| totaldamm | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| respirabelt damm | Membranfilter med föravskiljare | Vg | 9 |
| Damm och dimma, org (1974) | | | |
| totalt | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Damm, cement- (1981) | | | |
| totaldamm | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| respirabelt damm | Membranfilter med föravskiljare | Vg | 9 |
| Damm, grafit- (1978) | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Damm, hårdplast- (1978) | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| Damm, kol- inkl kimrök (1978) | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Damm, pappers- (1993) | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Damm, PVC- (1996) | | | |
| totaldamm | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| respirabelt damm | Membranfilter med föravskiljare | Vg | 9 |
| Damm, textil- (1993) - | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Damm, trä- (1993) | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Dekaner och andra högre | | | |
| alifatiska kolväten (1989) | Kolrör | G | N 1500 |
| Diacetonalkohol (1993) | Kolrör | G | N 1402 |
| [123-42-2] | | | |
| Dibensylftalat (1987) | Membranfilter | G | N 5020 |
| [84-62-8] | | | |
| Dibutylftalat (1987) | Membranfilter + XAD-2-rör | G | N 5020 |
| [84-74-2] | | | |
| Dietanolamin (1993) | Glasfiberfilter med NIT | V | 16 |
| [111-42-2] | | | |
| Dietylamin (1984) | Diffusionsprovtagare med NIT-impregnerat filter | V | 21 |
| [109-89-7] | | | |
| 2-Dietylaminoetanol (1996) | Silikarör (stort) | G | IMIS 0920 |
| [100-37-8] | | | |
| Dietylglykol (1993) | Kolrör | G | IMIS D609 |
| [111-46-6] | | | |
| Dietylglykolmono- butyleter (1996) | Kolrör | G | N 1403 |
| [112-34-5] | | | |
| Dietylglykolmono- butyleteracetat (1996) | Kolrör | G | N 1450 |
| [124-17-4] | | | |
| Dietyltriemin (1996) | XAD-2-rör med NIT | V | 18 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|--|--------|--------------|
| [111-40-0] Dietyleter ⁽¹⁹⁹⁶⁾ (eter) [60-29-7] | Kolrör | G | N 1610 |
| Dietylftalat ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [84-66-2] | Membranfilter + XAD-2-rör | G | N 5020 |
| Di-(2-etylhexyl)ftalat ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [117-84-0] | Membranfilter | G | N 5020 |
| Difenyl ⁽¹⁹⁷⁴⁾ (bifenyl) [92-52-4] | Tenax GC-rör | G | N 2530 |
| Difenylamin ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [122-39-4] | Glasfiberfilter med svavelsyra | V | O 78 |
| Diglycidyleter (DGE) ⁽¹⁹⁸¹⁾ [2238-07-5] | Kolrör | G | 28 |
| Diisodecylftalat ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [26761-40-0] | Membranfilter | G | N 5020 |
| Diisopropylamin ⁽¹⁹⁹³⁾ [108-18-9] | Silikarör | G | N Vol. 4 |
| Diisopropylfenylisocyanat ⁽¹⁹⁹³⁾ [28178-42-9] | Gastvättflaska med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| o-Diklorbensen ⁽¹⁹⁷⁸⁾ [95-50-1] | Kolrör | G | M 1017 |
| p-Diklorbensen ⁽¹⁹⁷⁸⁾ [106-46-7] | Kolrör | G | M 1017 |
| Diklordifluormetan ⁽¹⁹⁸⁴⁾ (CFC 12, Freon 12) [75-71-8] | Kolrör (stort) | G | N 1018 |
| 1,2-Diklorethan ⁽¹⁹⁸¹⁾ (etylendiklorid) [107-06-2] | Kolrör | G | M 1029 |
| Dikväveoxid ⁽¹⁹⁸¹⁾ (lustgas) [10024-97-2] | Påse eller spruta Molsiktrör | S G | N 6600 30 |
| N,N-Dimetylacetamid ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [127-19-5] | Silikarör | G | N 2004 |
| N,N-Dimetylanilin ⁽¹⁹⁹³⁾ [121-69-7] | Silikarör | G | N 2002 |
| Dimetyldisulfid ⁽¹⁹⁹³⁾ [624-92-0] | Kolrör | G | IMIS D651 |
| Dimetyleter ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [115-10-6] | Kolrör (stort) | G | N 1610 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|-----------------------------|--------|--------------|
| Dimetyletylamin ⁽¹⁹⁹³⁾ [598-56-1] | Kolrör | G | 2 |
| Dimetylformamid ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [68-12-2] | Silikarör | G | N 2004 |
| Dimetylfталат ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [131-11-3] | Membranfilter + XAD-2-rör | G | N 5020 |
| Dimetylsulfid ⁽¹⁹⁹³⁾ [75-18-3] | Kolrör | G | IMIS D650 |
| Dimetylsulfoxid ⁽¹⁹⁹³⁾ [67-68-5] | Kolrör | | IMIS D139 |
| Dinitrobensen, alla isomerer ⁽¹⁹⁷⁸⁾ [25154-54-5] | Glasfiberfilter + XAD-2-rör | G | M 1022 |
| Dinitrotoluen ⁽¹⁹⁹³⁾ [25321-14-6] | Glasfiberfilter + XAD-2-rör | V | N Vol. 4 |
| Dioktylfталат ⁽¹⁹⁸⁷⁾ | Membranfilter | G | N 5020 |
| Dioxan ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [123-91-1] | Kolrör | G | N 1602 |
| Dipropylenglykolmono- metyleter ⁽¹⁹⁹³⁾ [34590-94-8] | Kolrör | G | N Vol. 2 |
| Disulfiram ⁽¹⁹⁹³⁾ [97-77-8] | Glasfiberfilter | V | IMIS 2682 |
| Efrane ⁽¹⁹⁸¹⁾ (Enfluran, 1,1,2-tri- fluor-2-kloretyldi- fluormetyleter) [13838-16-9] | Påse eller spruta | S | 27 |
| Enfluran ⁽¹⁹⁸¹⁾ (Efrane, 1,1,2-tri- fluor-2-kloretyl- difluormetyleter) [13838-16-9] | Påse eller spruta | S | 27 |
| Enzymer ⁽¹⁹⁹⁶⁾ subtilisiner [1395-21-7 9014-01-1] | Membranfilter | K | M 1018 |
| Epiklorhydrin ⁽¹⁹⁷⁸⁾ [106-89-8] | Kolrör | G | M 1024 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---------------------------|--------|----------|
| Etanol ⁽¹⁹⁹³⁾ (etylalkohol) [64-17-5] | Kolrör | G | N 1400 |
| Etanolamin ⁽¹⁹⁹³⁾ [141-43-5] | Glasfiberfilter med NIT | V | 16 |
| Eter (dietyleter) ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [60-29-7] | Kolrör | G | N 1610 |
| 2-Etoxietaanol ⁽¹⁹⁸⁹⁾ (etylglykol, etylen- glykolmonoetyleter) [110-80-5] | Kolrör | G | N 1403 |
| 2-Etoxietylacetat ⁽¹⁹⁸⁹⁾ (etylglykolacetat, etylenglykolmono- etyleteracetat) [111-15-9] | Kolrör | G | N 1450 |
| Etylacetat ⁽¹⁹⁹³⁾ [141-78-6] | Kolrör | G | 3 |
| Etylakrylat ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [140-88-5] | Kolrör | G | N 1450 |
| Etylalkohol ⁽¹⁹⁹³⁾ (etanol) [64-17-5] | Kolrör | G | N 1400 |
| Etylamin ⁽¹⁹⁸⁴⁾ [75-04-7] | Silikarör | G | N Vol. 3 |
| Etylamylketon ⁽¹⁹⁹³⁾ [541-85-5] | Kolrör | G | N 1301 |
| Etylbensen ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [100-41-4] | Kolrör | G | N 1501 |
| Etylbutylketon ⁽¹⁹⁹³⁾ (3-heptanon) [106-35-4] | Kolrör | G | N 1301 |
| Etylcianoakrylat ⁽¹⁹⁸¹⁾ [7085-85-0] | Gastvättflaska med alkali | K | O 55 |
| Etylendiamin ⁽¹⁹⁷⁸⁾ [107-15-3] | XAD-2-rör med NIT | V | 5 |
| Etylendiklorid ⁽¹⁹⁸¹⁾ (1,2-dikloretan) [107-06-2] | Kolrör | G | M 1029 |
| Etylenglykol ⁽¹⁹⁹³⁾ (glykol) | XAD-2-rör | G | 6 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|------------------------|--------|------------------|
| [107-21-1] Etylenglykoldinitrat (1990) (nitroglykol, glykoldinitrat) [628-96-6] | XAD-2-rör XAD-2-rör | G G | 6 6 |
| Etylenglykolisopropyleter (1996) | Kolrör | G | IMIS I118 |
| [109-59-1] Etylenglykolisopropyleteracetat (1996) [19234-20-9] | Kolrör | G | IMIS I118 |
| Etylenglykolmonobutyleter (1993) (butylglykol, 2-butoxi- etanol) [111-76-2] | Kolrör | G | N 1403 |
| Etylenglykolmonobutyleter- acetat (butylglykolacetat, 2-butoxietylacetat) (1993) [112-07-2] | Kolrör Kolrör | G G | N 1450 N 1403 |
| Etylenglykolmonoetyleter (etylglykol, 2-etoxi- etanol) (1989) [110-80-5] | Kolrör | G | N 1403 |
| Etylenglykolmonoetyleter- acetat (etylglykolace- tat, 2-etoxietylacetat) (1989) [111-15-9] | Kolrör | G | N 1450 |
| Etylenglykolmonometyleter (1989) (metylglykol, 2-metoxi- etanol) [109-86-4] | Kolrör | G | N 1403 |
| Etylenglykolmonometyleter- acetat (metylglykolace- tat, 2-metoxietylacetat) (1989) [110-49-6] | Kolrör | G | N 1450 |
| Etylenglykolmonopropyleter (1996) | Kolrör | G | IMIS I118 |
| [2807-30-9] Etylenklorhydrin (2-kloretanol) [107-07-3] | Kolrör | G | M 1024 |
| Etylenoxid (1989) [75-21-8] | Kolrör med HBr | G | O 50 |
| Etylglykol (1989) (etylenglykolmonoetyl- | Kolrör | G | N 1403 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|--|---|--------|--------------|
| eter, 2-etoxietanol) [110-80-5] | | | |
| Etylglykolacetat (1989) (etylenglykol- monoetyleteracetat, 2-etoxietylacetat) [111-15-9] | Kolrör | G | N 1450 |
| 2-Etylhexyllaktat (1996) [6283-86-9] | Kolrör | G | IMIS 0478 |
| Etylklorid (1993) [75-00-3] | Kolrör (stort) | G | N 2519 |
| Etyllaktat (1996) [97-64-3] | Kolrör | G | IMIS 0478 |
| Etylmetakrylat (1987) [97-63-2] | XAD-7-rör | G | 3 |
| N-Etylmorfolin (1984) [100-74-3] | XAD-2-rör | G | 1 |
| Fenol (1987) [108-95-2] | XAD-2-rör | G | M 1012 |
| Fenylglycidyleter (1981) [122-60-1] | XAD-7-rör | G | 17 |
| Fenylisocyanat (1984) [103-71-9] | Gastvättflaska med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| Fibrer, naturliga kristallina andra än asbest och erionit (1990) | Membranfilter | Fr | M 1010 36 |
| Fibrer, syntetiska oorg (1993) | Membranfilter | Fr | M 1010 36 |
| Fluor (1974) [7782-41-4] | Gastvättflaska med alkali | J | 29 |
| Fluorider, inkl fluorväte (som F) (1978) | Membranfilter med impregnerad stödskiva | J | M 1015 |
| Fluorväte (1987) [7664-39-3] | Membranfilter med impregnerad stödskiva | J | M 1015 |
| Fluothane (1981) (2-brom-2-klor- 1,1,1-trifluoretan, halotan) | Kolrör | G | O 29 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|--|--------|------------------------|
| [151-67-7] Formaldehyd (1987) [50-00-0] | Glasfiberfilter eller SEP-PAK med DNF | V | M 1030 Utg. 2 40 |
| Formamid (1993) | Diffusionsprovtagare med DNF-impregnerat filter Silikarör | V G | 22 IMIS 1292 |
| [75-12-7] Fosforsyra, dimma (1974) [7664-38-2] | Silikarör | Jk | N 7903 |
| Fosforväte (1974) [7803-51-2] | Silikarör med kvicksilbercyanid | K | N Vol. 3 |
| Fosgen (1974) (karbonylklorid) [75-44-5] | XAD-2-rör med di-n-butylamin | G | 13 |
| Fotogen, flyg-, motor Ftalater (1993) | Kolrör | G | N 1500 |
| Ftalsyraanhydrid (1990) [85-44-9] | Membranfilter | V | N Vol. 3 |
| Furfural (1990) [98-01-1] | XAD-2-rör | G | M 1019 |
| Furfurylalkohol (1990) [98-00-0] | XAD-2-rör | G | M 1019 |
| Glasfibrer (1993) (syntetiska oorg fibrer) | Membranfiltet | Fr | M 1010 8, 36 |
| Glutaraldehyd (1981) [111-30-8] | Glasfiberfilter med DNF Diffusionsprovtagare med DNF | V V | O 64 22 |
| Glyceroltrinitrat (1990) (nitroglycerin) [55-63-0] | Tenaxrör | V | O 43 |
| Glykol (etylenglykol) (1993) [107-21-1] | XAD-2-rör | G | 6 |
| Glykoldinitrat (1990) (nitroglykol, etylen- glykoldinitrat) [628-96-6] | Tenaxrör | V | O 43 |
| Grafit, jämför koldamm (1978) [7782-42-5] | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| HFC 134 a (1996) (1,1,1,2-tetrafluoretan) [811-97-2] | Kolrör | G | O 29 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---|--------|--------------|
| Halotan ⁽¹⁹⁹⁰⁾ (2-brom-2-klor- 1,1,1-trifluoetan Fluothane) [151-67-7] | Kolrör | G | O 29 |
| Heptaner ⁽¹⁹⁸⁹⁾ | Kolrör | G | N 1500 |
| 2-Heptanon ⁽¹⁹⁹³⁾ (metylamylketon) [110-43-0] | Kolrör | | N 1301 |
| 3-Heptanon ⁽¹⁹⁹³⁾ (etylbutylketon) [106-35-4] | Kolrör | | N 1301 |
| Hexametylendiisocyanat ⁽¹⁹⁸⁴⁾ (HDI) [822-06-0] | Gastvättflaska med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| Hexametylentetramin ⁽¹⁹⁸⁴⁾ [100-97-0] | Glasfiberfilter med DNF | V | 20 |
| n-Hexan ⁽¹⁹⁸⁹⁾ [110-54-3] | Kolrör | G | N 1500 |
| Hexaner, utom n-hexan ⁽¹⁹⁸⁹⁾ | Kolrör | G | N 1500 |
| 2-Hexanon ⁽¹⁹⁹³⁾ (metyl-n-butylketon) [591-78-6] | Kolrör | | N 1301 |
| Hexylenglykol ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [107-41-5] | Kolrör | G | IMIS 1389 |
| Hydrokinon ⁽¹⁹⁹³⁾ [123-31-9] | Filter med KMnO ₄ + XAD-2 rör | V | 15 |
| 2-Hydroxietylakrylat ⁽¹⁹⁸¹⁾ [818-61-1] | XAD-7-rör | G | 3 |
| Härdplastdamm ⁽¹⁹⁷⁸⁾ | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| Indium och oorg före-ningar (som In) ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [7440-74-6, metallen] | Membranfilter | ICP | IMIS 1510 |
| Isobutylmetakrylat ⁽¹⁹⁸⁷⁾ [97-86-9] | XAD-7-rör | G | 3 |
| Isocyanater ⁽¹⁹⁹³⁾ | Gastvättflaska med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| Isofluran ⁽¹⁹⁹⁰⁾ (2,2,2-trifluor-1-klor- etyldifluormetyleter) [26675-46-7] | 2 st kolrör | G | IMIS F118 |
| Isoforon ⁽¹⁹⁹³⁾ | Kolrör | G | N 2508 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|--|--------|-------------------|
| [78-59-1] Isoforondiisocyanat (IPDI) (1981) | Gastvättflaska med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| [4098-71-9] Isolerfibrer (1993) (syntetiska oorg fibrer) | Membranfilter | Fr | M 1010 8, 36 |
| Isopropanol (1989) (isopropylalkohol) [67-63-0] | Kolrör | G | N 1400 |
| Isopropylalkohol (1989) (isopropanol) [67-63-0] | Kolrör | G | N 1400 |
| Isopropylamin (1993) [75-31-0] | Diffusionsprovtagare med NIT-filter | V | 21 |
| Isopropylbensen (1984) (kumen) [98-82-8] | Kolrör | G | N 1501 |
| Isopropylnitrat (1978) [1712-64-7] | Kolrör | G | M 1020 |
| Jod (1974) [7553-56-2] | Kolrör med NaOH | Jk | N 6005 |
| Järnoxid, (som Fe) (1978) respirabelt damm [1309-37-1] | Membranfilter med föravskiljare | A,RF | 9, 25 N Vol. 3 |
| Kadmium och oorg föreningar (som Cd) (1993) totaldamm respirabelt damm [7440-43-9, metallen] | Membranfilter | A,E,RF | 25 N Vol. 7 |
| Kalciumoxid (1974) [1305-78-8] | Membranfilter | A | N7401 |
| Kaprolaktam (1993) (damm+ånga) [105-60-2] | OVS med XAD-7* | V | IMIS 524 |
| Karbonsylklorid (1974) (fosgen) [75-44-5] | XAD-2-rör med di-n-butylamin | G | 13 |
| 3-Karen (jfr terpenier) (1990) [13466-78-9] | Kolrör | G | N 7903 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|--|--|--------|---------------------|
| Katekol (1993) [120-80-9] | XAD-7-rör | V | O 32 |
| Kimrök, se koldamm (1978) | | | |
| Kinon (1978) (p-bensokinon) [106-51-4] | Filter med KMnO ₄ + XAD-2-rör | V | 15 |
| Klor (1978) [7782-50-5] | Gastvättflaska med reagens | S | M 1016 |
| 2-Klor-1,3-butadien (1990) (kloropren) [126-99-8] | Kolrör | G | N 1002 |
| Klorcyan (1978) (cyanklorid) [506-77-4] | Ampull | | 10 |
| Klordifluormetan (1984) (CFC 22, Freon 22) [75-45-6] | Kolrör (stort) | G | N 2516 |
| Klordioxid (1996) [10049-04-4] | Gastvättflaska med reagens | S | 26 |
| 2-Kloretanol (1981) (etylenklorhydrin) [107-07-3] | Kolrör | G | M 1024 |
| Klorfenoler och salter (1990) | XAD-2-rör | G | M 1027 |
| Klorkresol (1993) [59-50-7] | XAD-2-rör | G | M 1027 |
| Kloroform (1978) [67-66-3] | Kolrör | G | M 1029 |
| Kloropren (1990) (2-klor-1,3-butadien) [126-99-8] | Kolrör | G | N 1002 |
| Klorväte (1974) [7647-01-0] | Silikarör (stort) | Jk | N 7903 |
| Kobolt och oorg föreningar (som Co) (1978) [7440-48-4, metallen] | Membranfilter | A,E,RF | 25 N Vol. 3,5 |
| Koldamm inkl. kimrök, (1978) jämför grafit | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| Koldioxid (1974) [124-38-9] | Påse Direktvisande instrument | G | N Vol. 3 |
| Koldisulfid (1978) [75-15-0] | Kolrör + torkrör | G | N 1600 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---|--------|---------------------|
| Kolmonoxid ⁽¹⁹⁷⁴⁾ (koloxid) [630-08-0] om källan är avgaser gäller ⁽¹⁹⁹⁰⁾ | Direktvisande diffusionsrör | | 11 |
| Koloxid ⁽¹⁹⁷⁴⁾ (kolmonoxid) [630-08-0] om källan är avgaser gäller ⁽¹⁹⁹⁰⁾ | Direktvisande diffusionsrör | | 11 |
| Koltetraklorid ⁽¹⁹⁷⁸⁾ [56-23-5] | Kolrör | G | M 1029 |
| Koppar och oorg föreningar, (som Cu) ⁽¹⁹⁷⁸⁾ totaldamm | Membranfilter | A,E,RF | 25 N Vol. 5,7 |
| respirabelt damm [7440-50-8, metallen] | Membranfilter med föravskiljare | A,E,RF | 9, 25 N Vol. 7 |
| Kresylglycidyleter ⁽¹⁹⁸¹⁾ [2186-24-5] | XAD-7-rör | V | 17 |
| Kristobalit ⁽¹⁹⁹⁶⁾ respirabelt damm [14464-46-1] | Membranfilter med föravskiljare | RD | 9 M 1021 |
| Krom och oorg föreningar utom kromsyra och kromater (som Cr) ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [7440-47-3, metallen] | Membranfilter | A,E | N 7024 |
| Kromater (som Cr) ⁽¹⁹⁹⁶⁾ | Membranfilter eller PVC-filter | K | N Vol. 6 |
| Kromsyra (som Cr) ⁽¹⁹⁹⁶⁾ [1333-82-0] | Membranfilter eller PVC-filter | K | N Vol. 6 |
| Kumen ⁽¹⁹⁸⁴⁾ (isopropylbensen) [98--82-8] | Kolrör | G | N 1501 |
| Kvarts ⁽¹⁹⁹⁶⁾ respirabelt damm [14808-60-7] | Membranfilter med föravskiljare | RD | 9 M 1021 |
| Kvikksilver, alkylföre- ningar (som Hg) ⁽¹⁹⁹³⁾ | Membranfilter med provsamlingsrör (special) | A | N Vol. 6 |
| Kvikksilver, föreningar | Gastvättflaska med kaliumpermanganat eller glasfiberfilter | A | N Vol. 5 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|--------------------------------------|--------|-----------------|
| utom alkyl- (som Hg) (1993) | | | |
| Kvicksilver, ånga (1993) [7439-97-6] | Hydrarrör | A | N 6009 |
| Kvävedioxid (1990) [10102-44-0] | Diffusionsrör med TEA | S | N 6700 |
| om källan är avgaser | Gastvättflaska med reagens | K | M 1004 |
| gäller (1990) | | | |
| Kväveoxid (1990) [10102-43-9] | Gaspipett med reagens | K | 33 |
| Lacknafta (1989) | Kolrör | G | N 1550 |
| Limonen (jfr terpener) (1990) [138-86-3] | Kolrör | G | N 1551 |
| Lustgas (1981) | Påse eller spruta | S | N 6600 |
| (dikväveoxid) | Molsiktrör | G | 30 |
| [10024-97-2] | | | |
| Maleinsyraanhydrid (1993) [108-31-6] | XAD-2 rör med p-anisidin + XAD-2-rör | V | O 25 |
| Mangan och oorg föreningar (som Mn) (1993) totaldamm | Membranfilter | A,E,RF | N Vol. 2,5, 25 |
| respirabelt damm | Membranfilter med föravskiljare | A,E,RF | N Vol. 7, 9, 25 |
| [7439-96-5 metallen] | | | |
| Metakrylsyra (1987) [79-41-4] | 2 st XAD-8-rör | V | IMIS M339 |
| Metanol (1990) (metylalkohol) [67-56-1] | Två Anasorb 474-rör (stora) | G | O 91 |
| 2-Metoxietanol (1989) (metylglykol, etylenglykolmonometyleter) [109-86-4] | Kolrör | G | N 1403 |
| 2-Metoxietylacetat (1989) (metylglykolacetat, etylenglykolmonometyleteracetat) [110-49-6] | Kolrör | G | N 1450 |
| Metylacetat (1993) [79-20-9] | Kolrör | G | N Vol. 2 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|--------------------------------------|--------|--------------|
| Metylakrylat (1987) [96-33-3] | XAD-7-rör | G | 3 |
| Metylalkohol (1990) (metanol) [67-56-1] | Två Anasorb 474-rör (stora) | G | O 91 |
| Metylammin (1984) [74-89-5] | XAD-7-rör med NBD | V | O 40 |
| Metylamylalkohol (1996) [108-11-2] | Kolrör | | N 1402 |
| Metylamylketon (1993) (2-heptanon) [110-43-0] 25 | Kolrör | G | IMIS 1776 |
| Metylbromid (1990) [74-83-9] | 2 Kolrör (stora) | G | N 2520 |
| Metyl-n-butylketon (1993) (2-hexanon) [591-78-6] | Kolrör | G | N 1300 |
| Metylcianoakrylat (1981) [137-05-3] | XAD-7-rör med fosforsyra | V | O 55 |
| Metylenbisfenyliso- cyanat (MDI) (1984) [101-68-8] | Impinger med di-n-butylamin i toluen | V | 35, 38-40 |
| Metylenklorid (1989) [75-09-2] | Kolrör | G | M 1029 |
| Metyletylketon (MEK) (1987) [78-93-3] | Kolrör | G | N 1300 |
| Metyletylketonperoxid (1981) [1338-23-4] | Gastvättflaska med dimetylfталat | S | N 3508 |
| Metylformiat (1993) [107-31-3] | 2 Carbosieve B-rör | G | N Vol. 5 |
| Metylglykol (1989) (etylenglykolmonometyl- eter, 2-metoxietanol) [109-86-4] | Kolrör | G | N 1403 |
| Metylglykolacetat (1989) (etylenglykolmonometyl- eteracetat, 2-metoxi- etylacetat) [110-49-6] | Kolrör | G | N 1450 |
| Metylisoomylketon (1993) | Kolrör | G | IMIS 1776 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---|--------|---------------------|
| [110-12-3] Metylisobutylketon(MIBK) ₍₁₉₈₉₎ | Kolrör | G | N 1300 |
| [108-10-1] Metylisopropylbensen ₍₁₉₈₄₎ (cymen) | Kolrör | G | N 1501 |
| [99-87-6] Metyljodid ₍₁₉₈₁₎ | Kolrör | G | N 1014 |
| [74-88-4] Metylklorid ₍₁₉₉₆₎ | 2 Kolrör (stora) | G | N 1001 |
| [74-87-3] Metylkloroform ₍₁₉₈₉₎ (1,1,1-trikloretan) | Kolrör | G | N 1003 |
| [71-55-6] Metylmerkaptan ₍₁₉₉₃₎ | Glasfiberfilter med kvicksilveracetat | G | O 26 |
| [74-93-1] Metylmetakrylat ₍₁₉₈₇₎ | XAD-7-rör | G | 3 |
| [80-62-6] N-Metylmorfolin ₍₁₉₈₄₎ | XAD-7-rör | G | 1 |
| [109-02-4] N-Metylpyrrolidon ₍₁₉₉₀₎ | XAD-7-rör | G | 19 |
| [872-50-4] | | | |
| Metyltertiärbutyleter ₍₁₉₉₀₎ (MTBE) | Kolrör | G | N 1610 |
| [1634-04-4] Molybden, lättlösliga föreningar ₍₁₉₈₄₎ | Membranfilter urlakning med vatten | A | N Vol. 3 |
| Molybden, metall och svårlösliga föreningar ₍₁₉₈₄₎ totaldamm | Membranfilter | A,E,RF | N Vol. 3,7 25 |
| respirabelt damm [7439-98-7, metallen] | Membranfilter med föravskiljare | A,E,RF | N Vol. 7 9,25 |
| Monoklorättiksyra ₍₁₉₉₃₎ | Silikarör | Jk | N 2008 |
| [79-11-8] Morfolin ₍₁₉₈₄₎ | Silikarör | G | N Vol. 3 |
| [110-91-8] Myrsyra ₍₁₉₉₀₎ | Silikarör med vätekarbonat | Jk | 14 |
| [64-18-6] Naftalendiisocyanat(NDI) ₍₁₉₈₄₎ | Gastvättflaska med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| [3173-72-6] | | | |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|--|--------|------------------|
| Naftalener, klorerade (1978) [1321-65-9] | XAD-2-rör | G | M 1027 |
| Natriumhydroxid (1974) [1310-73-2] | Gastvättflaska med HCl eller teflonfilter | T | N 7401 |
| Natriumtetraboratdeka- hydrat (borax) (1978) [1303-96-4] | Membranfilter | K | M 1028 |
| Nickel, metall (1978) [7440-02-0] | Membranfilter | A,E,RF | N Vol. 5,7,25 |
| Nickelföreningar, oxid, karbonat och lösliga föreningar (som Ni) (1978) | Membranfilter | A,RF | N Vol. 3,5,25 |
| Nickelkarbonyl (1974) [13463-39-3] | Kolrör med låg Ni-blank | A | N 6007 |
| Nickelsubsulfid (som Ni) (1978) (trinickeldisulfid) [12035-72-2] | Membranfilter | A,E | N 7300 |
| Nitrobensen (1974) [98-95-3] | XAD-2-rör | G | M 1022 |
| Nitroetan (1993) [79-24-3] | XAD-2-rör (stort) | G | N 2526 |
| Nitroglycerin (1990) (glyceroltrinitrat) [55-63-0] | XAD-2-rör | G | N 1022 |
| Nitroglykol (1990) (etylenglykoldinitrat, glykoldinitrat) [628-96-6] | Tenaxrör | V | O 43 |
| Nitrometan (1993) [75-52-5] | Chromosorb 106-rör (stort) | G | N 2527 |
| 1-Nitropropan (1990) [108-03-2] | XAD-7-rör | G | M 1020 |
| 2-Nitropropan (1996) [79-46-9] | XAD-7-rör | G | M 1020 |
| Nitrotoluen, alla isomerer (1993) [1321-12-6] | Silikarör | G | N 2005 |
| Nonaner (1989) | Kolrör | G | N 1500 |
| Oktaner (1989) | Kolrör | G | N 1500 |
| Oljedimma, inkl oljerök (1990) | Membranfilter | F | N Vol. 1,3 |
| | Glasdunfilter | S | |
| Oxalsyra (1990) | Membranfilter | Jk | IMIS |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|---------------------------------------|--------|------------------|
| | | | 1970 |
| [144-62-7] Ozon (1990) | 2 impregnerade glasfiberfilter | Jk | O ID214 |
| [10028-15-6] PCB (1978) | Direktvisande instrument XAD-2-rör | G | M 1027 |
| (polyklorerade bifenyler) | | | |
| PVC-damm (1996) | | | |
| (polyvinylklorid) | | | |
| [9002-86-2] totaldamm | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| respirabelt damm | Membranfilter med föravskiljare | Vg | 9 |
| Pappersdamm (1993) | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Pentaerytritol (1996) | PVC-filter | G | IMIS P157 |
| [115-77-5] Pentaklorfenol och salter (1974) | XAD-2-rör | G | M 1027 |
| Pentaner (1978) | Kolrör | G | N 1500 |
| Perkloretylen (1989) | Kolrör | G | M 1029 |
| (tetrakloretylen) | | | |
| [127-18-4] Petroleumnafta | Kolrör | G | N 1550 |
| α -Pinen (jfr terpener) (1990) | Kolrör | G | N 1551 |
| [80-56-8] β -Pinen (jfr terpener) (1990) | Kolrör | G | N 1551 |
| [127-91-3] Piperazin (1987) | Gastvättflaska med 0,1 M HCl | G | 34 |
| Polyklorerade bifenyler (1978) | XAD-2-rör | G | M 1027 |
| (PCB) | | | |
| Propanol, alla isomerer (1989) | Kolrör | G | N 1400 N 1401 |
| (propylalkohol) | | | |
| Propen (1996) | | | |
| [115-07-1] Propionsyra (1990) | Silikarör | G | IMIS 2168 |
| [79-09-4] Propylacetat (1996) | Kolrör | G | N 1450 |
| Propylalkohol, alla isomerer (propanol) (1989) | Kolrör | G | N 1400 N 1401 |
| Propylenglykoldinitrat (1987) | XAD-2-rör | G | M 1022 |
| [6423-43-4] Propylenglykolmonometyleter | Kolrör | G | IMIS 2210 |
| (PGME) (1990) | | | |
| Propylenglykolmonome- | Kolrör | G | IMIS P218 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|--|---|---------|--------------------|
| tyleteracetat (PGMEA) (1990) | | | |
| Propylenoxid (1993) [75-56-9] | Kolrör | G | N 1612 |
| Pyridin (1996) [110-86-1] | Kolrör | G | N 1613 |
| Radon (1996) underjordsarbete övrigt | Radonmätare | | SSI* |
| Resorcinol (1993) [108-46-3] | XAD-7-rör | G | IMIS 2221 |
| Råbomull (1974) (bomullsdamm) | PVC-filter | Vg | IMIS 735 |
| Salpetersyra (1974) [7697-37-2] | Silikarör | Jk | N 7903 |
| Selen och oorg fören (1990) utom selenväte (som Se) [7782-49-2, selen] | Membranfilter | A,E | N Vol. 3,7 |
| Selenväte (1990) [7783-07-5] | Gastvättflaska med natriumhydroxid och väteperoxid | A | 37 |
| Silver, lösliga före- ningar (som Ag) (1990) | Membranfilter | A,E | N Vol. 7 N 7300 |
| Silver, metall och svår- lösliga föreningar (som Ag) (1990) [7440-22-4, metallen] | Membranfilter | A,E | N Vol. 5 N 7300 |
| Stearater (1996) | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| Styren (1990) [100-42-5] | Kolrör | G | N 1501 |
| Sulfider (se dimetyldisulfid, dimetylsulfid och metylmerkaptan) (1993) | | | |
| Svaveldioxid (1987) [7446-09-5] | Membranfilter med KOH | Jk | N 6004 |
| Svavelhexafluorid (1993) [2551-62-4] | Tedlarpåse | G | N Vol. 5 |
| Svavelsyra, dimma (1974) [7664-93-9] | Membranfilter Silikarör | T Jk | N Vol. 3 N 6903 |
| Svaveltetrafluorid (1993) | Impinger med 0.01 N NaOH | J | O ID-110 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|--|----------------------------------|--------|--------------------------|
| [7783-60-0] Svavelväte (1987) | Cellulosafilter med silverniträt | DPP | O ID141 |
| [7783-06-4] Syntetiska oorg fibrer (1993) | Membranfilter | Fr | M 1010 36 |
| Talk (1996) totaldamm | Membranfilter | Vg | M 1010 |
| respirabelt damm | Membranfilter med föravskiljare | Vg | 9 |
| Tellur och föreningar (som Te) (1981) | Membranfilter | A,E,RF | N Vol. 3,7, 25 |
| [13494-80-9, metallen] | | | |
| Tennorganiska föreningar (som Sn) (1978) | Glasfiberfilter + XAD-2-rör | A | N 5504 |
| Terpener (1990) | Kolrör | G | N 1551 |
| Terpentin (1990) | Kolrör | G | N 1551 |
| [8006-64-2] | | | |
| Tetrabrometan (1993) | Silikarör | G | N 2003 |
| [79-27-6] | | | |
| Tetraetylbly (som Pb) (1981) | XAD-2-rör | G | N 2533 |
| [78-00-2] | | | |
| 1,1,1,2-Tetrafluoretan (1996) (HFC 134 a) | Kolrör | G | O 29 |
| [811-97-2] | | | |
| Tetrahydrofuran (1993) | Kolrör | G | N 1609 |
| [109-99-9] | | | |
| Tetrakloretylen (1989) (perkloretylen) | Kolrör | G | M 1029 |
| [127-18-4] | | | |
| Tetraklorfenol och salter (1978) | XAD-2-rör | G | M 1027 |
| Tetrametylbly (som Pb) (1981) | XAD-2-rör (stort) | G | N 2534 |
| [75-74-1] | | | |
| Tetranitrometan (1993) | Impinger med etylacetat | G | N Vol. 3 |
| [509-14-8] | | | |
| Textildamm (1993) | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Tioglykolsyra (1996) | Impinger med vatten | V | IMIS 2423 |
| [68-11-1] | | | |
| Tiram (1993) | Teflonfilter | V | N 5005 |
| [137-26-8] | | | |
| Titandioxid (1990) | Membranfilter | A,E,RF | N Vol. 3 N 7300 25 |
| [13463-67-7] | | | |
| Toluen (1987) | Kolrör | G | M 1026 |
| [108-88-3] | | | |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|---|--|--------|--------------|
| Toluendiisocyanat (TDI) (1984) [584-84-9] | Gastvättflaska med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| Tridymit (1996) [15468-32-3] | Membranfilter med föravskiljare | RD | 9 M 1021 |
| Trietanolamin (1984) [102-71-6] | Glasfiberfilter | G | IMIS T185 |
| Trietylamin (1989) [121-44-8] | Kolrör | G | 2 |
| Trietylentetramin (1984) [112-24-3] | Glasfiberfilter med NIT | V | 18 |
| 1,1,2-Trifluor-2-klor-etyldifluormetyleter (1981) (Efrane, Enfluran) [13838-16-9] | Påse eller spruta | S | 27 |
| 2,2,2-Trifluor-1-klor-etyldifluormetyleter (1990) (Isofluran) [26675-46-7] | 2 st kolrör | G | IMIS F118 |
| 1,1,1-Trikloretan (1989) (metylkloroform) [71-55-6] | Kolrör | G | N 1003 |
| Trikloretalen (1989) [79-01-6] | Kolrör | G | M 1029 |
| Triklorfenol och salter (1990) | XAD-2-rör | G | M 1027 |
| Triklorfluormetan (1984) (CFC 11, Freon 11) [75-69-4] | Kolrör (stort) | G | N 1006 |
| 1,1,2-Triklor-1,2,2-trifluoretan (1981) (CFC 113, Freon 113) [76-13-1] | Kolrör | G | N 1020 |
| Trimellitsyraanhydrid (1993) (TMA) [552-30-7] | Membranfilter | G | N Vol. 6 |
| Trimetylbensen, alla isomerer (1989) | Kolrör | G | M 1026 |
| Trimetylhexametylendiisocyanat (TMDI) (1984) | Impinger med di-n-butylamin i toluen | VM | 35, 38-39 |
| Trimetylolpropan (1996) [77-99-6] | Membranfilter | Vg | M 1010 |

| Ämne | Provtagningsmetod | Analys | Ref |
|--|---|--------|----------------|
| Trinickeldisulfid (som Ni) (1978) (nickelsubsulfid) [12035-72-2] | Membranfilter | A,E | N 7300 |
| Trinitrotoluen (1993) [118-96-7] | OVS-provtagare med Tenax** | G | O 44 |
| Trädamm (1993) | Membranfilter (inaskning) | Vg | M 1010 |
| Vanadinoxid (som V) (1987) totaldamm | Membranfilter | A,E,RF | N 7300 25 |
| respirabelt damm [1314-62-1] | Membranfilter med föravskiljare | A,RF | 9,25 |
| Vinylacetat (1993) [108-05-4] | XE-347-rör | G | O 51 |
| Vinylidenklorid (1981) [75-35-4] | Kolrör | G | N 1015 |
| Vinylklorid (1974) [75-01-4] | Kolrör | G | N 1007 |
| Vinyltoluen (1993) [25013-15-4] | Kolrör | G | M 1026 |
| Volfram, lättlösliga föreningar (som W) (1981) | Membranfilter (urlakning med vatten) | A | N 7074 |
| Volfram, metall och svår- lösliga föreningar (1981) (som W) [7440-33-7, metallen] | Membranfilter | A | N 7074 |
| Väteperoxid (1990) [7722-84-1] | Gastvättflaska med reagenslösning | S | 32 |
| Xylen (1987) [1330-20-7] | Kolrör | G | M 1026 |
| Zinkklorid (1974) respirabelt damm [7646-85-7] | Membranfilter med föravskiljare | A,RF | 9,25 N 7030 |
| Zinkoxid (1974) [1314-13-2] | PVC-filter | A,RF | N 7502, 25 |
| Ziram (1993) [137-30-4] | OVS-provtagare med XAD-2** | V | IMIS Z126 |
| Ättiksyra (1990) [64-19-7] | Silikarör med vätekarbonat | Jk | 14 |
| Ättiksyraanhydrid (1974) [108-24-7] | Gastvättflaska med hydroxylaminlösning | S | N 3506 |

* Statens Strålskyddsinstitut, metod under utarbetande.

** OVS-provtagare = OSHA Versatile Sampler, kommersiellt tillgänglig provtagare med kombination av filter och adsorbent.

Sammanfattning

Levin J O (red.) Principer och metoder för provtagning och analys av ämnen på listan över hygieniska gränsvärden. *Arbete och Hälsa* 1997:6, sid 1-67.

I föreliggande publikation ges en beskrivning av principerna för de viktigaste metoderna för bestämning av luftföroreningar i arbetsmiljön. Arbetet inleds med en redogörelse för kvalitetssäkring, provtagningsstrategi och statistisk analys av observerade värden i samband med bestämning av luftföroreningskoncentrationer. Därefter följer avsnitt om direktvisande analysmetoder för gasformiga ämnen och aerosoler, samt metoder för separata provtagnings- och analyssteg, med redogörelse för volymmätning av luftprover, provtagning genom direktuppsamling och anrikningsmetoder, transport och förvaring av prover, samt analys av prover med de viktigaste metoderna. I arbetet finns också en lista över ämnen med gränsvärden och för varje ämne metoder för provtagning och analys med litteraturreferenser.

Nyckelord: analys, arbetsmiljö, gränsvärde, kvalitetssäkring, luftförorening, luftprovtagning, provtagningsstrategi.

Summary

Levin J O (ed.) Principles and methods for the sampling and analysis of substances on the list of occupational exposure limits. *Arbete och Hälsa* 1997:6, pp 1-67.

This paper describes the most important methods for the analysis of air samples from the work environment. The first part of the paper contains a description of quality assurance, sampling strategy, and statistical analysis of observed values in connection with measurements. Direct reading methods for measuring gaseous substances and aerosols, and methods consisting of separate steps for sampling and analysis are discussed. Also included is a description of volume measurements of air samples, sampling through direct collection and enrichment methods, and analytical methods for the determination of gases and dusts. Finally, a list with all substances on the Swedish list of occupational exposure limits is given, with methods for sampling and analysis, including literature references.

Key words: air sampling, analysis, sampling strategy, limit value, work environment, quality assurance.

Referenser

1. Andersson B, Andersson K. Air sampling of N-methylmorpholine on solid sorbent and determination by capillary gas chromatography and a nitrogen-phosphorus detector. *Anal Chem* 1986;58:1527-1529.
2. Andersson B. Determination of tertiary amines in air. *Appl Ind Hyg* 1989;4:175-179.
3. Andersson K, Carleborg L, Levin J-O, Nilsson C-A. *Provtagning och analys av organiska ämnen på gränsvärdeslistan. XI. Acetater och akrylater*. Arbetskyddsstyrelsen, 1983 (Undersökningsrapport 1983:6).
4. Andersson K, Hallgren C, Levin J-O, Nilsson C-A. Liquid chromatographic determination of hydrazine at sub-parts-per-million levels in workroom air as benzaldazine with the use of chemisorption on benzaldehyde-coated Amberlite XAD-2. *Anal Chem* 1984;56:1730-1731.
5. Andersson K, Hallgren C, Levin J-O, Nilsson C-A. Determination of ethylenediamine in air using reagent-coated adsorbent tubes and high-performance liquid chromatography on the 1-naphthylisothiourea derivatives. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985;46:225-229.
6. Andersson K, Levin J-O, Lindahl R, Nilsson C-A. Sampling of ethylene glycol and ethylene glycol derivatives in work-room air using Amberlite XAD resins. *Chemosphere* 1982;11:1115-1119.
7. Andersson K, Levin J-O, Nilsson C-A, Norström Å. Provtagning och analys av partikulära och gasformiga polycykliska aromatiska kolväten i arbetsplatsluft. *Arbete och Hälsa* 1983;26.
8. Arbetskyddsstyrelsen, Forskningsavdelningen, sektionen för aerosoler, stencil nr 79. 1980.
9. Arbetskyddsstyrelsen. *Föravskiljare*. 1980. Best nr H1.
10. Dahlner B, Holmberg B. *Cyanklorid -underlag för gränsvärde*. Arbetskyddsstyrelsen, 1977 (Undersökningsrapport 1977:14).
11. Dräger Svenska AB, direktvisande diffusionsrör Koloxid 50/a-D nr 6733191.
12. Elia VJ, Powers KM, Burg WR. A solid sorbent air sampling method for o-phenylenediamine. *Am Ind Hyg Assoc J* 1982;43:196-200.
13. Hendershott J P. The simultaneous determination of chloroformates and phosgene at low concentrations using solid sampling gas chromatographic procedure. *Am Ind Hyg Assoc J* 1986;47:742-746.
14. Hultman A. *Bestämning av ättiksyra, myrsyra och monoklorättiksyra i luft*. Arbetskyddsstyrelsen 1985 (Undersökningsrapport 1985:16).
15. Levin J-O. High performance liquid chromatographic determination of hydroquinone in air as benzoquinone, using combined oxidizing filter and XAD-2 adsorbent preconcentration. *Chemosphere* 1988;17:671-679.
16. Levin J-O, Andersson K, Hallgren C. Determination of monoethanolamine and diethanolamine in air. *Ann Occup Hyg* 1989;33:175-180.
17. Levin J-O, Andersson K, Karlsson R-M. Solid sorbent sampling and chromatographic determination of glycidyl ethers in air. *J Chromatogr* 1988;454:121-128.
18. Levin J-O, Andersson K, Fängmark I, Hallgren C. Determination of gaseous and particulate polyamines in air using sorbent or filter coated with naphthylisothiocyanate. *Appl Ind Hyg* 1989;4:98-100.
19. Levin J-O, Bäckman, G. *Utvärdering av adsorbenter för provtagning av N-metylpyrrolidon i luft*. Arbetsmiljöinstitutet 1994 (Undersökningsrapport 1994:23).
20. Levin J-O, Fängmark I. High-performance liquid chromatographic determination of hexamethylenetetramine in air. *Analyst* 1988;113:511-513.
21. Levin J-O, Lindahl R, Andersson K. Determination of volatile amines in air using diffusive sampling, thiourea formation and high performance liquid chromatography. *J Chromatogr* 1993;643:35-41.

22. Lindahl, R., Levin, JO. A laboratory validation of a diffusive sampler for the determination of glutaraldehyde in air. *J Chromatogr* 1995;710:175-180.
23. Lindahl R, Levin J-O, Andersson K. Utvärdering av en diffusionsprovtagare för reaktiva ämnen. *Arbete och Hälsa* 1989;26.
24. Lindahl R, Levin JO, Mårtensson M. Validation of a diffusive sampler for determination of acetaldehyde in air. *The Analyst* 1996;121:1177-1181.
25. Lundgren L, Skare L, Persson A, Krantz S. Analys av metallaerosoler med röntgenfluorescensspektroskopi. *Arbete och Hälsa* 1989;17.
26. Masschelein W. Spectrophotometric determination of chlorine dioxide with Acid Chrome Violet K. *Anal Chem* 1966;38:558-561.
27. National Institute for Occupational Safety and Health. *Occupational exposure to waste anesthetic gases and vapors*. DHEW, NIOSH Publication No. 77-140. Cincinnati, 1977.
28. National Institute for Occupational Safety and Health. *Occupational exposure to glycidyl ethers*. DHEW, NIOSH Publication No. 78-166. Cincinnati, 1978.
29. Otey MG, Pulley H. Determination of gaseous fluorine in air. *Am Ind Hyg Assoc J* 1973;34:418-420.
30. Punpeng T, Frohlinger JO, Esmen NA. Improved gas chromatography method for field measurements of nitrous oxide in air. *Anal Chem* 1979;51:159-161.
31. Rudling J, Hallberg B-O, Hultengren M, Hultman A. Utveckling och utvärdering av fältmetoder för bestämning av ammoniak i luft. *Arbete och Hälsa* 1983;20
32. Schutz A. Gefahrenermittlung am Beispiel des aseptischen Abpackens. *Staub* 1987;47:223-226.
33. Skare I. *Bestämning av nitrösa gaser i luft*. AI-rapport nr 15, 1970.
34. Skarping G, Bellander T, Mathiasson L. Determination of piperazines in the working atmosphere and in human urine using derivatization and capillary gas chromatography with nitrogen- and mass-selective detection. *J Chromatogr* 1986;370:245-258.
35. Spanne M, Tinnerberg H, Dalene M and Skarping G. Determination of complex mixtures of airborne isocyanates and amines. Part 1. Liquid chromatography with ultraviolet detection of monomeric and polymeric isocyanates as their dibutylamine derivatives. *Analyst* 1996;121:1095-1099.
36. Svensk Standard SS 028418.
37. Tamari Y, Hiraki K, Nishikawa Y. Separation of selenide constituents from selenide samples containing elemental selenium. *Bull Chem Soc Japan* 1982;55:101-103.
38. Tinnerberg H, Spanne M, Dalene M and Skarping G. Determination of complex mixtures of airborne isocyanates and amines. Part 2. Toluene diisocyanate and aminoisocyanate and toluenediamine after thermal degradation of a toluenediisocyanate-polyurethane. *Analyst* 1996;121:1101-1106.
39. Tinnerberg H, Spanne M, Dalene M and Skarping G. Determination of complex mixtures of airborne isocyanates and amines. Part 3. Methylenediphenyl-diisocyanate -aminoisocyanate, and -diamine and structural analogues after thermal degradation of a polyurethane. *Analyst* 1997;122:275-278.
40. Waters SEP-PAK DNPH-Silica Cartridge. *Care and Use Manual*. February 1992. Millipore Corporation, Milford, MA, USA.

Insänt för publicering 1997-04-04