

Undersökning av andningsmiljön för instruktörer vid brandövningar

Stefan Svensson, Tekn.Dr.

Bertil Månsson, Leg.Läk.

MSB:s kontaktperson:
Bo Kallhagen, 010 – 240 52 79

Förord

Under 2006 och 2007 genomfördes en undersökning av instruktörers arbete i hyperterm miljö vid Räddningsverkets skola i Revinge. I detta arbete drogs bland annat slutsatsen att arbete i hyperterm miljö inte innebär någon omedelbar allvarlig hälsopåverkan i den form den bedrivs vid skolorna. Samtidigt kunde vi inte utesluta att arbetet i längre perspektiv med frekvent exponering kan medföra hälsorisker. Efter detta arbetet har det bland annat införts restriktioner i exponeringen av kombinationen fysisk belastning med hög omgivningstemperatur.

Som en direkt följd av detta arbete genomfördes även det arbete som beskrivs i denna rapport, där fokus var andningsmiljön för instruktörer. Undersökningen har omfattat övningsfält, omklädningsrum samt personlig skyddsutrustning.

Vi vill rikta ett stort tack till Sarka Langer och Lars Rosell vid Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB, Lennart Andersson vid Universitetssjukhuset i Örebro, Hans Kling vid Bodycote Materials Testing i Linköping samt Per Muhr vid Luftvärnsregementet i Halmstad. Utan deras oerhörda kompetens och engagerade arbete hade vi stått oss slätt.

Dessutom vill vi tacka Jerker Nilsson, Daniel Persson, Jonas Sykfont samt Ola Feltwall vid Räddningsverkets skola i Revinge för deras värdefulla bidrag i undersökningen.

Vi hoppas att arbetet kommer att bidra till en säkrare arbetsmiljö för personal och kursdeltagare i samband med övningar för räddningstjänsten samt att det leder till fortsatt arbete. Det finns mycket kvar att undersöka, inte minst om vi lyfter ut frågeställningarna i en verklig räddningstjänstmiljö.

Stefan Svensson

Bertil Månsson

Innehållsförteckning

1. Inledning	13
Bakgrund	13
Syfte	14
Omfattning	14
2. Förutsättningar	15
Bränsle vid brandövningar	15
Utsläpp av gaser och partiklar vid brandövningar	16
Koldioxid, CO ₂	16
Kolmonoxid, CO	17
Flyktiga organiska ämnen (VOC)	18
Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)	20
Kväveoxider, NO _x	21
Svaveldioxid, SO ₂	22
Isocyanater	22
Dioxiner	23
Vätecyanid, HCN	24
Sot och andra partiklar	24
3. Påverkan på människokroppen.....	27
Kroppens upptag av gaser och partiklar.....	27
4. Försök.....	35
Genomförande.....	35
Mätmiljöer.....	35
Provtagning av gaser och partiklar i samband med brandövningar samt i omklädningsrum/torkrum	38
Personlig skyddsutrustning	42
Blodprover	44
5. Resultat	45
Partiklar	45
Omklädningsrum/torkrum.....	45
Brandövningar.....	46
Gaser	47

Personlig skyddsutrustning	49
Resultat från yttextilier	50
Resultat från underställ	52
Blodprover.....	53
6. Diskussion	54
Allmänt.....	54
Mätning av partiklar	55
Mätning av gaser	56
Mätning av personlig skyddsutrustning	57
Mätning av COHb	58
Påverkan på kroppen	58
Verksamhet i samband med övningar	60
7. Slutsatser.....	62
8. Fortsatt arbete	63
9. Begreppsförklaring	64
10. Referenser	66
Mätresultat.....	66
Övrigt	66
11. Bilagor	69
Bilaga 1; Grovomklädningsrum 16 – 17 juni, Ci500.....	70
Bilaga 2; Grovomklädningsrum 16 – 17 juni, DataRAM	71
Bilaga 3; Grovomklädningsrum 16 – 17 juni, P-Trak.....	72
Bilaga 4; Grovomklädningsrum 16 – 17 juni, AeroTrak	73
Bilaga 5; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, Ci500.....	74
Bilaga 6; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, DataRAM.....	75
Bilaga 7; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, P-Trak	76
Bilaga 8; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, AeroTrak	77
Bilaga 9; Torkrum 17 – 18 juni, Ci500	78
Bilaga 10; Torkrum 17 – 18 juni, DataRAM	79
Bilaga 11; Torkrum 17 – 18 juni, P-Trak.....	80
Bilaga 12; Torkrum 17 – 18 juni, Aerotrak.....	81
Bilaga 13; Brandövningar 1 – 4, 17 juni, DataRam.....	82
Bilaga 14; Brandövningar 1 – 4, 17 juni, P-trak	83

Bilaga 15; Brandövningar 1 – 4, 17 juni, Dräger PacIII	84
Bilaga 16; Brandövning 5, 18 juni, DataRam	85
Bilaga 17; Brandövning 5, 18 juni, P-trak	86
Bilaga 18; Brandövning 5, 18 juni, Dräger PacIII	87
Bilaga 19; FID kromatogram från alla analyser.....	88
A; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 100 °C.....	88
B; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 200 °C	88
C; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 300 °C	88
D; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 400 °C.....	89
E; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 100 °C	89
F; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 200 °C	89
G; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 300 °C	90
H; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 400 °C	90
I; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 100 °C	90
J; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 200 °C.....	91
K; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 300 °C.....	91
L; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 400 °C	91
M; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 100 °C.....	92
N; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 200 °C	92
O; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 300 °C	92
P; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 400 °C.....	93
Q; Använd otvättad (underställ) 100 °C.....	93
R; Använd otvättad (underställ) 200 °C.....	93
S; Använd tvättad (underställ) 100 °C	94
T; Använd tvättad (underställ) 200 °C	94
U; Ny otvättad (underställ) 100 °C	94
V; Ny otvättad (underställ) 200 °C	95
W; Ny tvättad (underställ) 100 °C.....	95
X; Ny tvättad (underställ) 200 °C	95
Bilaga 20; Ämnesgrupper för ytterplagg: ny otvättad.....	96
Bilaga 21; Ämnesgrupper för ytterplagg: ny tvättad.....	97
Bilaga 22; Ämnesgrupper för ytterplagg: använd otvättad	98
Bilaga 23; Ämnesgrupper för ytterplagg: använd tvättad.....	99
Bilaga 24; Ämnesgrupper för underställ: ny otvättad	100

Bilaga 25; Ämnesgrupper för underställ: ny tvättad	101
Bilaga 26; Ämnesgrupper för underställ: använd otvättad	102
Bilaga 27; Ämnesgrupper för underställ: använd tvättad	103

Investigating the respiratory environment for instructors at fire drills

Summary

In connection with the practical fire drills conducted at the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB), personnel and trainees are exposed to heat, hard physical work and fire gases (particles and gases). There is a suspicion that the respiratory environment can affect personnel and trainees in a way that can have a negative impact on the body in both the short and long term. Effects on the human body is very complex, but can be summarized by the influences on muscle functions, nerve functions, liver functions, kidney functions, lung functions, blood cells and their oxygen carrying capacity, immunology, circulation and effects on blood vessels and hormonal regulation, including reproduction.

Earlier studies show that emissions from drill fires include carbon dioxide, carbon monoxide, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), soot and volatile organic compounds (VOC). Other substances also are interesting, but as for fire drills are small in quantities. Such substances include nitrogen oxides, sulphur oxides, isocyanides, and dioxins. All these substances have a negative impact on the body, in the short or long term, depending on the quantities etc. Moreover, a large amount of particles of different size and type are generated.

In order to examine the respiratory environment in connection with fire drills, with respect to cancer, allergic, or substances that in other ways may be harmful to humans, a number of measurements were carried out in week 825 and 826 at the MSB's school in Revinge. The intention was to propose protective measures to be taken for staff and learners. The study mainly included the environment outside the training facilities, staff changing rooms, drying room for personal protective equipment, and emergency clothing / outer garments used in the training. In addition, a number of blood samples for the study of the uptake of carbon monoxide in the blood were taken. Measurements and analysis were carried out in collaboration with the Swedish Technical Research Institute in Borås, Occupational and Environmental Medicine Clinic at the University Hospital in Örebro and Bodycote Materials Testing AB in Linköping.

The results of measurements indicate that the risks with respect to the gases and particles seem moderate for personnel and trainees. However, long-term effects can not be excluded, why continued work to improve the working environment is advisable. In addition, there may be reason to do certain actions and to make significant improvements / changes in some areas or in certain parts of the business. Proposals for change include, inter alia, improved personal protective equipment and changed the manner of use of

personal protective equipment, improved handling of personal protective equipment, and changes in training.

Proposal for further work include studies of how the human organism is affected by the gases and particles emitted in connection with fire drills, the study of particulate matter chemical composition, comprehensive study of the chain from training to the effectiveness, regarding safety, environmental and educational activities. Furthermore, equivalent studies of real fire and rescue operations, where exposure to substances and particles from sources such as fires may be higher while the frequency is probably much lower.

Keywords: *fire drills, emissions, work environment, fire gases, particles*

Undersökning av andningsmiljön för instruktörer vid brandövningar

Sammanfattning

I samband med de praktiska brandövningar som genomförs vid Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), utsätts personal och kursdeltagare för såväl värme som hårt fysiskt arbete samt en arbetsmiljö i övrigt som omfattas av större eller mindre mängder brandgaser (partiklar och gaser). Det finns då en misstanke att andningsmiljön kan påverka personal och kursdeltagare på ett sätt som på såväl kort som lång sikt kan ha en negativ inverkan på kroppen. Påverkan på människokroppen är mycket komplex, men kan i stort sammanfattas med påverkan av muskelfunktioner, nervfunktioner, leverfunktioner, njurfunktioner, lungfunktioner, blodcellsbild och syretransporterande förmåga, immunologi, cirkulation och effekter på blodkärl samt hormonell reglering inklusive reproduktion.

Tidigare studier visar att det vid övningsbränder släpps ut bland annat koldioxid, kolmonoxid, polycykliska aromatiska kolväten (PAH), sot och flyktiga organiska ämnen (VOC). Andra föreningar som också är intressanta, men som vid brandövningar släpps ut i mindre mängder är kväveoxider, svaveloxider, isocyanater och dioxiner. Samtliga dessa ämnen har en negativ inverkan på kroppen, på kort eller lång sikt, beroende på upptagna mängder mm. Dessutom genereras en stor mängd partiklar av olika storlek och typ.

För att utreda andningsmiljön i samband med brandövningar vid MSB:s skolor, med avseende på cancerogena, allergiska eller ämnen som på andra sätt kan vara skadliga för människan, genomfördes ett antal mätningar i under vecka 825 och 826 vid MSB:s skola i Revinge. Avsikten var bland annat att föreslå skyddsåtgärder som bör vidtas för personal och kursdeltagare. Studien omfattade i huvudsak miljön utanför övningsanläggningar, omklädningsrum för personal, torkrum för personlig skyddsutrustning, samt en undersökning rörande emissioner av ämnen och partiklar från de larmkläder/ytterplagg som används vid övningar. Dessutom togs ett antal blodprover för undersökning av upptaget av kolmonoxid i blodet. Mätningarna och analyserna utfördes i samarbete med Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB i Borås, Arbets- och miljömedicinska kliniken vid Universitetssjukhuset i Örebro samt Bodycote Materials Testing AB i Linköping.

Resultaten från mätningarna pekar på att riskerna med avseende på gaser och partiklar förefaller måttliga för personal och kursdeltagare. Samtidigt kan vi inte utesluta effekter på lång sikt, varför fortsatt arbete med att förbättra arbetsmiljön är tillrådligt. Dessutom kan det finnas anledning att göra vissa punktinsatser och att göra tydliga förbättringar/förändringar inom vissa områden eller med avseende på vissa delar av verksamheten. Förslag

till förändringar innefattar bland annat förbättrad personlig skyddsutrustning och förändrat användningssätt av den personliga skyddsutrustningen, förbättrad hantering av personlig skyddsutrustning samt förändrat genomförande av övningar.

Förslag till fortsatt arbete omfattar bland annat studier av hur den mänskliga organismen påverkas av de gaser och partiklar som släpps ut i samband med brandövningar, studier av partiklars kemiska sammansättning, övergripande studie av kedjan från utbildningsmål till måluppfyllelse, med avseende på arbetsmiljö, miljö samt pedagogisk verksamhet. Dessutom föreslås motsvarande studier av verklig räddningstjänst, där exponeringen för ämnen och partiklar från bland annat bränder kan vara högre samtidigt som frekvensen troligtvis är mycket lägre.

Nyckelord: *brandövning, utsläpp, arbetsmiljö, brandgas, partiklar*

1. Inledning

Bakgrund

I samband med de praktiska brandövningar som genomförs vid MSB:s (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap) skolor, utsätts såväl personal (i huvudsak instruktörer, men även servicepersonal m.fl.) som kursdeltagare för såväl värme som hårt fysiskt arbete samt en arbetsmiljö i övrigt som omfattas av större eller mindre mängder brandgaser (partiklar och gas).

Verksamheten vid skolorna är omfattande när det gäller denna praktiska övningsverksamhet, en typ av verksamhet som många gånger är nödvändig för att uppnå den kompetens som krävs hos kursdeltagare m.fl.

Det finns en misstanke att andningsmiljön kan påverka personal och kursdeltagare på ett sätt som på såväl kort som lång sikt kan ha en negativ inverkan på kroppen. I första hand berörs instruktörer och servicepersonal, som utsätts tämligen ofta och regelbundet för denna miljö. Den miljö som avses och som omfattas av denna studie finns på övningsfältet, utanför övningsanläggningarna, där andningsapparat sällan används.

Under 2006 och 2007 genomfördes som ett första steg en studie kring instruktörers arbete i hyperterm miljö, vid Räddningsverkets skola i Revinge (Månsson & Svensson, 2007). Resultatet från studien visade att den hyperterm miljö i kombination med den grad av fysiskt arbete som utfördes vid de aktuella övningarna inte indikerade någon omedelbar allvarlig hälsopåverkan. Samtidigt gjordes observationer som med beaktande av den frekventa exponeringen kan indikera hälsorisker i ett längre perspektiv. Resultaten av studien blev bland annat att den här typen av arbete begränsades. Grundprincipen i denna begränsning är att arbete i hyperterm miljö ska följas av vila samt att endast ett begränsat antal arbetspass i hyperterm miljö kan tillåtas över dagen, veckan, månaden och året. Hänsyn ska då tas till såväl arbetets karaktär (grad av fysisk ansträngning och temperatur) som den pedagogiska verksamheten.

Dock kvarstår misstanken att personal och kursdeltagare även påverkas av andningsmiljön, dvs. den omgivande luften som är påverkad av bland annat förbränningsgaser från brandövningar. I denna miljö finns en mängd partiklar och gasmolekyler frigjorda dels från de brinnande materialen, men också emitterade från den till höga temperaturer uppvärmda skyddsutrustningen som bärs av personalen. Dessa ämnen återfinns främst i inandningsluften runt övningsområdet. Eftersom de även fastnar på kläderna kan de återfinnas i fordonshytterna, i omklädningsrum och i olika serviceutrymmen och därigenom inandas av alla som vistas i eller passerar genom dessa utrymmen utan andningsskydd.

Observera att vid tidpunkten för de mätningar som redovisas i denna rapport tillhörde skolan i Revinge Statens Räddningsverk. Statens Räddningsverk,

Krisberedskapsmyndigheten samt Styrelsen för Psykologiskt Försvar upphörde med sina respektive verksamheter 2008-12-31. Sedan 2009-01-01 bedrivs motsvarande verksamheter vid Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap MSB.

Syfte

Syftet med studien som beskrivs i denna rapport var att undersöka andningsmiljön i samband med brandövningar vid MSB:s skolor, med avseende på cancerogena, allergiska eller ämnen som på andra sätt kan vara skadliga för människan. Studien avser också att eventuellt föreslå skyddsåtgärder som bör vidtas för personal och kursdeltagare.

Sekundärt kan eventuella skyddsåtgärder då även påverka övrig personal och övriga besökare vid skolan, i positiv riktning.

Omfattning

Studien omfattade verksamheten på övningsfält vid MSB:s skola i Revinge, i huvudsak utanför övningsanläggningar där personal och kursdeltagare normalt vistas utan andningsskydd. Studien omfattade även omklädningsrum för personal, såväl den del som kallas grovomklädningsrum (för larmkläder/ytterplagg) som torkrum och den del som kallas finomklädningsrum (för underställ, träningskläder och privata gångkläder). Dessutom omfattade studien en undersökning av de larmkläder/ytterplagg som används vid övningar. Denna del avsåg att belysa mängder och typer av gaser, partiklar mm som tas upp och avges av kläderna.

Mätningarna utfördes vid MSB:s skola i Revinge i samarbete med Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB (SP, Borås), Universitetssjukhuset i Örebro, Arbets- och miljömedicinska kliniken (USÖ) samt Bodycote Materials Testing AB (Linköping). De mätresultat som redovisas är således till allra största delen hämtade från deras respektive undersökningar och redovisningar.

2. Förutsättningar

Bränsle vid brandövningar

De bränslen som används vid Räddningsverkets skolor består i huvudsak av trä (ved, lastpallar, träfiberskiva, mm), gas (gasol och naturgas) samt vätskor (dieselolja, tändvätska, etanol, mm). Vid vissa speciella tillfällen används även andra bränslen, i huvudsak i form av olika plastmaterial, färg samt behandlat trä. Dessa tillfällen begränsas dock till viss forsknings- och utvecklingsverksamhet samt till tillfällen då det finns ett pedagogiskt behov av att studera ett mer verklighetstroget brandförlopp (till exempel vid utbildning av brandorsaksutredare). Mängderna av dessa, mer miljö- och hälsovådliga, bränslen är dock försvinnande små. Generellt kan sägas att andelen av mer miljö- och hälsovådliga bränsletyper har minskat under senare åren. Samtidigt ska man ha i åtanke att ett bränsle som kan betraktas som miljövänligt eller mindre hälsovådligt, används vid övningar på ett sätt som bränslet egentligen inte är avsett för (genom begränsad lufttillförsel, påförande av släckmedel etc.). Detta medför att de gaser och partiklar som bildas kan vara av en mindre miljövänlig eller mer hälsovådlig karaktär än vad som egentligen kan förväntas av ett visst bränsle. Det görs dock kontinuerligt arbeten för att utveckla och förbättra övningsmiljön, se till exempel Svensson (2007). Fördelningen av de olika vanliga bränsletyper som används vid MSB:s och tidigare Räddningsverkets skolor anges i tabell 1, nedan.

Tabell 1; Fördelning av använda bränsletyper, per viktenhet

Bränsletyp	Revinge	Sandö	Skövde
Trä	70,9%	87,5%	72,8%
Spånskivor	0,7%	-	0,6%
Gas	23,6%	5,9%	20,7%
Etanol	-	3,1%	2,5%
Diesel/tändvätska	4,8%	3,5%	3,5%

Uppgifter för Räddningsverkets skola i Rosersberg har inte varit tillgängliga. Observera att verksamheten vid Skövde och Rosersberg är avvecklad sedan årsskiftet 2008-09.

Även om det finns skillnader mellan vilka typer och mängder av bränslen som används vid skolorna, är likheterna större än eventuella skillnader. Ofta är det syftet med övningen tillsammans med pris, tillgång och möjligheten att rena de utsläpp som sker, som påverkar valet av bränsle. Samtliga dessa faktorer är påverkade av lokala förhållanden, vilket då medför de i tabell 1 uppvisade små skillnaderna. Den största skillnaden är användningen av gas i Sandö, vilket troligen beror på tillgången till distributionssystem.

Bränders förlopp och de produkter som bildas vid förbränning, är beroende av en rad faktorer som instruktören vid övningar endast delvis kan kontrollera. Utöver bränsletyp är en sådan viktig faktor mängden tillgänglig syre vid förbränning, vilket bland annat beror på antalet och storleken på öppningar och vindförhållande. Detta påverkar i sin tur framförallt temperaturen, vilket sedermera påverkar vilka ämnen som bildas vid

förbränning. Generellt kan man säga att ju högre temperaturen är och ju bättre lufttillgång till förbränningen, desto fullständigare förbränning. Om förbränningen är 100 % fullständig bildas i huvudsak endast relativt ofarliga produkter, såsom koldioxid, vatten och olika salter, oavsett bränsletyp. Då förbränningen är ofullständig, vilket den alltid är vid bränder (oavsett om det är övningsbränder eller verkliga bränder), bildas en lång rad nedbrytningsprodukter som har större eller mindre inverkan på den mänskliga organismen (och givetvis även på andra organismer).

Tidigare studier visar att det vid övningsbränder släpps ut bland annat koldioxid, kolmonoxid, polycykliska aromatiska kolväten (PAH), sot och flyktiga organiska ämnen (VOC) (Eriksson & Rengbo, 2004). Andra föreningar som också är intressanta, men som vid brandövningar släpps ut i mindre mängder är kväveoxider, svaveloxider, isocyanater och dioxiner. Samtliga dessa ämnen har en negativ inverkan på kroppen, på kort eller lång sikt, beroende på upptagna mängder mm.

Nedan behandlas ett antal olika typer av ämnen som är typiska för bränder. Det är dock inte med nödvändighet så att dessa har visat sig vara närvarande vid de undersökningar som genomförts i detta arbete. De kan dock vara intressanta att beakta eller att göra ytterligare studier kring, inte minst med avseende på upptag i kroppen.

Utsläpp av gaser och partiklar vid brandövningar

Inledningsvis bör nämnas att många gaser, utöver sin toxicitet, har en undanträngande effekt på luftens syre. Normalt har luften en syrgashalt på cirka 21%. Sjunkande syrgashalt i inandningsluften påverkar kroppen relativt snabbt. Vid 17% uppstår bristande koordination och stigande andningsfrekvens. Vid 12% uppstår yrsel, huvudvärk och uttalad trötthet. Vid 9% inträder medvetlöshet och vid endast 6% syrgashalt i inandningsluften dör man inom fem minuter. Som kuriosa kan då också nämnas att ökad syrgashalt ökar förbränningen i de flesta material. Vid en syrgashalt av 25% är förbränningshastigheten den dubbla.

Koldioxid, CO₂

Koldioxid bildas vid all förbränning och är en färglös och luktfri gas. Vid mindre effektiv förbränning minskar andelen bildad koldioxid och istället bildas det mer kolmonoxid vilket är betydligt giftigare, se nästa avsnitt (Larsson et al, 2002). En koldioxidmolekyl är relativt stabil och kräver temperaturer på omkring 900°C för att sönderdelas (Tuovinen, 2002).

Koldioxid är vattenlöslig vilket gör att gasen verkar irriterande på slemhinnor vid inandning av höga halter. Detta beror på att koldioxid gärna löser sig i slemhinnorna i andningsvägarna och bildar kolsyra. Eftersom pH i slemhinnorna då sänks, upplevs detta som irriterande (Sterner, 2003).

Koldioxid är inte toxisk i sig, men gasen har en stimulerande effekt på andningen hos levande organismer samt att den tränger undan luftens syre till exempel vid utsläpp i ett utrymme (fasta släckanläggningar etc.). Det är således mängden koldioxid i blodet som stimulerar andningen. En ökad koncentration av koldioxid i blodet, ökar andningsfrekvensen. Denna effekt på andningsmekanismen kan därigenom öka exponeringen för de olika toxiska föreningar som finns i de gaser som genereras vid bränder. Koldioxid kan på detta sätt medverka till att öka gasernas totala toxicitet (Larsson et al, 2002). Dessutom kan då också halten koldioxid i blodet öka ytterligare.

Nivågränsvärdet (NVG) för koldioxid är 9000 mg/m³ luft (5 000 ppm) och korttidsvärdet (KTV) är 18 000 mg/m³ luft (10 000 ppm) (AFS 2005:17).

Kolmonoxid, CO

Kolmonoxid är en av de vanligaste förbränningsprodukterna och bildas framförallt vid ofullständig förbränning av organiskt material där syretillgången är dålig (Larsson et al, 2002). Vid verkliga bränder kan halter på mellan 10 och 15 % kolmonoxid uppnås (Bengtsson, 2001). Detta motsvarar 100 000 – 150 000 ppm (se tabell 2, nedan).

Kolmonoxid bildas vid själva förbränningen, men kan också uppstå i de varma brandgaser som bildas vid förbränningen beroende på temperaturen och sammansättningen av brandgaserna. Kolmonoxid kan till exempel bildas ur de sotpartiklar som genereras i branden. Sot och kolmonoxid återfinns ofta i stora mängder vid bränder där ofullständig förbränning sker, dvs. såväl vid övningsbränder som vid verkliga bränder (Tuovinen, H., 2002).

Kolmonoxid är en luktfri, smaklös och färglös gas. Den är därför svår att upptäcka (Larsson, et al, 2002), vilket gör den förrädisk och det är inte ovanligt med dödsfall då förbränning har skett i dåligt ventilerade utrymnen. Exempel på detta kan vara i husvagnar där förbränning av gasol producerar såväl värme som kyla, bostäder (ofta sommarstugor) med dåligt sotade eller på annat sätt igensatta rökkanaler eller då någon på grund av dåligt väder väljer att grilla sin mat inomhus eller ställer in en inte helt släckt grill inomhus efter avslutad grillsession.

Kolmonoxidförgiftning är normalt den primära dödsorsaken vid verkliga bränder i byggnader (bostäder). En kolmonoxidhalt på 1 procent (10 000 ppm) i inandningsluften är tillräckligt för att döda en människa på någon minut (Bengtsson, 2001).

Kolmonoxidens allvarliga påverkan på människokroppen beror på att kolmonoxid binder sig till hemoglobinet i blodet istället för syret och därigenom orsakar syrebrist. Affiniteten, dvs. bindningsförmågan eller dragningskraften, för kolmonoxid till hemoglobinet är 250 gånger starkare än för syre (Sternner, 2003). En halt av 0,1 % kolmonoxid i inandningsluften leder till en 50%-ig blockering av syreupptaget (Lidman, 2008).

Inandningen av kolmonoxid leder således till inre kvävning och gasen är därför akuttoxisk.

Tidiga symptom på kolmonoxidförgiftning är yrsel, huvudvärk och illamående. Kortvariga effekter vid exponering av gasen är i form av trötthet, minskad reaktionsförmåga och koncentrationssvårigheter. Långsiktiga symptom är ofta depression och humörsvängningar, symptom som kan uppträda långt efter exponering.

Långsiktiga effekter kan vara en ökad åderförkalkning samt en ökad risk för hjärtinfarkt. Personer som på grund av ålder eller sjukdom redan har en försämrad andning och blodcirkulation blir mer påverkade än andra av denna ökade påfrestning eftersom hjärtat behöver jobba hårdare för att kroppen ska få den mängd syre den behöver (Grennfelt, et al, 1991). Kolmonoxid är också klassat som ett reproduktionsstörande ämne.

Observera också att kroppen har svårt att ventilerar ut kolmonoxid samt att symptom av gasen kan uppstå långt efter exponeringen. Kolmonoxidförgiftning behandlas med syrgas, upp till 100%, och i allvarliga fall även i tryckkammare. Tabell 2 nedan beskriver översiktligt symptom till följd av kolmonoxidförgiftning.

Tabell 2; Symptom till följd av kolmonoxidförgiftning

Kolmonoxid [ppm]	Symptom
200	Lätt huvudvärk efter 2-3 h
400	Huvudvärk efter 1-2 h, ökar efter 2,5-3,5 h
800	Yrsel, kväljningar och uppkastningar efter 2 h, medvetslöshet
1600	Huvudvärk, yrsel och kväljningar inom 20 min, död inom 2 h
3200	Huvudvärk, yrsel och kväljningar inom 5-10 min, död inom 30 min
6400	Huvudvärk, yrsel och kväljningar inom 1-2 min, död inom 10-15 min
12800	Död inom ett par minuter

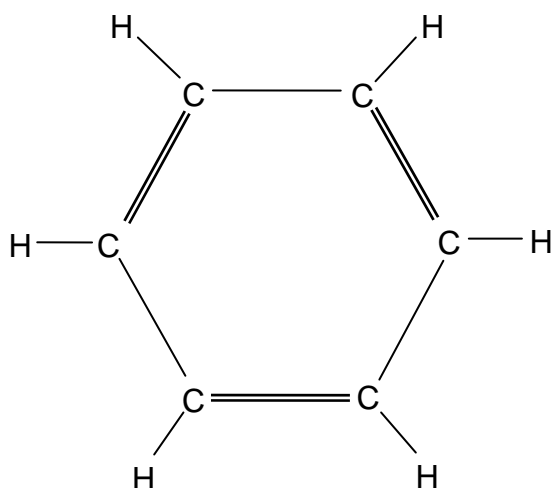
Nivågränsvärdet för kolmonoxid är 40 mg/m³ luft (35 ppm) och korttidsvärdet är 120 mg/m³ luft (100 ppm) (AFS 2005:17).

Flyktiga organiska ämnen (VOC)

Vanliga oförbrända organiska ämnen som bildas i samband med bränder är bland annat flyktiga och organiska (VOC, Volatile Organic Compounds). Beroende på vilken provtagnings- och analysmetod som används, ser man olika sammansättningar av gruppen VOC. Generellt gäller dock att de ämnen som tillhör gruppen VOC är medelstora flyktiga organiska föreningar med en molmassa på mellan 70 och 250 g/mol. Inom gruppen delas föreningarna upp efter kokpunkt, dvs. efter föreningarnas flyktighet. Enligt världshälsoorganisationen (WHO) delas gruppen in i de tre subgrupperna mycket flyktiga organiska ämnen (VVOC), flyktiga organiska ämnen (VOC) och halvflyktiga organiska ämnen (SVOC) (Larsson, et al, 2002).

Vid ofullständig förbränning bildas stora mängder VOC och brandgaserna kan utgöras av flera procent VOC. Det vanligaste ämnet i gruppen är bensen, en inte helt okänd kemisk förening. Figur 1 nedan visar en bild av den kemiska strukturen hos bensen.

Bensenmolekylen kan bildas även om bränslet inte innehåller föreningar med aromatisk struktur (Blomqvist, et al, 2002). I regioner med låg syrekonzentration kommer en andel av de flyktiga kolväteföreningarna att genomgå reaktioner och bilda omättade molekyler som t.ex. acetylen. De omättade molekylerna kan polymeriseras och så småningom bilda polycykliska aromatiska kolväten (PAH), se nedan. De genererade aromatiska föreningarna kan sedan växa i storlek och bildar slutligen partiklar med en diameter på mellan 10 och 100 nm. Eftersom partiklarna är små utgör de också en påtaglig hälsorisk (Drysdale, 1998). Andra exempel på några vanliga VOC är toluen, styren och xylen. VOC kan även bildas utan att förbränning sker genom pyrolysisreaktioner, d.v.s. upphettning av organiskt material som leder till termisk sönderdelning från större till mindre molekyler (Blomqvist, P., et al, 2002).



Figur 1: Kemisk struktur hos bensen, 6 kolatomer och 6 väteatomer, C_6H_6 .

Direkta hälsoeffekter som uppträder i samband med exponering av VOC är bland annat irritation i andningsvägarna. Föreningarna kan också orsaka allergier och nervskador (Larsson, et al, 2002). Dessutom är många av föreningarna som ingår i gruppen VOC cancerframkallande, där bensen är ett välkänt exempel (Sterner, 2003). Styren är en annan förening i gruppen som har visat sig vara mycket fettlösligt och som bland annat påverkar centrala nervsystemet (Sterner, 1999). Bensen och styren kan också lätt upptas genom hud.

Årsmedelvärde för bensen i utomhusluft bör ej överskrida koncentrationer högre än $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ luft (SFS 2001:527). Nivågränsvärdet för bensen är $1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ luft (0,5 ppm) och korttidsvärdet är $9 \text{ mg}/\text{m}^3$ (3 ppm) (AFS 2005:17).

Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)

En annan viktig grupp av oförbrända kolväten som bildas i samband med bränder är polycykliska aromatiska kolväten (PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons). Observera kopplingen till VOC, ovan. Gemensamt för PAH är att de innehåller två eller flera bensenringar (se figuren ovan). I gruppen finns många starkt cancerframkallande ämnen, där den mest kända föreningen är bens(a)pyren (Sterner, 2003). Exponering av PAH sker till viss del via födan i form av rökta och grillade livsmedel. I synnerhet tobaksrök innehåller PAH.

PAH bildas framförallt vid ofullständig förbränning av organiskt material, speciellt vid temperaturer runt 600°C, i kombination med dålig tillgång på syre. Det krävs dock inte att förbränning sker för att PAH ska kunna bildas, utan det räcker med att organiskt material upphettas (Blomqvist, P., et al, 2002).

Föreningarna inom gruppen som innehåller mindre än fem bensenringar är i regel mindre toxiska på grund av att de är mer flyktiga och de bryts även ner relativt snabbt genom oxidering. Större PAH-föreningar däremot, adsorberas på ytan på partiklar av organiskt material och är mindre benägna att oxideras. Större PAH-föreningar är således mer stabila och kan därför transporteras långa sträckor innan de deponeras och kommer i kontakt med levande organismer.

Nerbrytning i mark sker främst genom oxidation med hjälp av bland annat marknära ozon, kväveoxider och svaveldioxid. Oxidering med hjälp av kväveoxider leder till produktion av mycket giftiga nitropolyaromater. Största risken med PAH ur hälsoaspekt är att de har adsorberats av partiklar som vid inandning kan ta sig ner i luftvägarna. Är partiklarna tillräckligt små (< 2 µm) kan de ta sig ner till de djupare delarna av lungorna. I alveolerna kan PAH-molekyler som är bundna till partiklarna släppa från partikelytan och diffundera in i kroppen via lungväggen och oxideras vidare i kroppen. De metaboliter (kroppens olika nedbrytningsprodukter) som bildas i de olika oxidationsreaktionerna är toxiska genom att de lägger sig mellan basparen i DNA-kedjan. Eftersom föreningarna är elektrofila reagerar de med de positivt laddade DNA-baserna i cellkärnan. Reaktionerna ger förändringar i DNA-molekylen som ger upphov till cellförändringar och kan så småningom leda till cancer (Sterner, 2003). Bens(a)pyren kan också lätt upptas genom hud samt är klassat som reproduktionsstörande.

Halten av bens(a)pyren i utomhusluft (gasformigt) bör ej överskrida 0,0001 µg/m³ luft (SFS 2001:527). Nivågränsvärdet för bens(a)pyren är 0,002 µg/m³ och korttidsvärdet är 0,02 µg/m³ (AFS 2005:17). Bens(a)pyren används även som indikatorämne för övriga PAH-ämnena.

Kväveoxider, NO_x

Vid förbränning vid temperaturer omkring 1100°C, kommer luftens kväve att oxideras och bilda olika kväveföreningar, främst kvävemonoxid. Material som innehåller kemiskt bundet kväve bidrar också till produktion av kväveoxider vid förbränning. Även kvävedioxid och dikväveoxid (lustgas) bildas vid förbränning av kvävehaltiga material eller vid höga temperaturer (Grennfelt, et al, 1991). Produktionen av kväveoxid i samband med förbränning gynnas av såväl höga temperaturer som god tillgång på syre, dvs. effektiv förbränning genererar större mängder kväveoxider.

Kvävemonoxid är en färglös gas som inte är löslig i vatten (Norling, 2002). Större delen av den kvävemonoxid som bildas vid förbränning oxideras vidare till kvävedioxid i atmosfären. Vid närvaro av ozon sker denna process inom loppet av några minuter.

Kvävedioxid är den mest toxiska kväveoxiden. Det är en gas med en karakteristisk lukt och karakteristisk brunaktig färg (Bengtsson, 2001). Den kan bland annat ge skador på lungvävnad och försvaga lungans försvarsmekanismer mot virus och bakterier. Kortvarig exponering drabbar främst personer med redan nedsatt lungfunktion, t.ex. astmatiker, genom att exponeringen leder till sammandragning av luftvägarna (Grennfelt, et al, 1991).

Redan vid halter i storleksordningen 5 ppm verkar kvävedioxid irriterande på lungor och slemhinnor. Eftersom föreningarna endast är måttligt reaktiva kan de transporteras långt ner i lungorna, orsaka lungödem som kan leda till döden (Sterner, 2003).

Halten kvävedioxid i utomhusluft bör inte överstiga 100 µg/m³ (0,05 ppm) (timmedelvärde). Det tillåtna årsmedelvärdet i utomhusluft är 20 µg/m³ (0,01 ppm) (SFS 2001:527). Nivågränsvärdet för kvävedioxid är 4 mg/m³ luft (2 ppm) och takgränsvärdet är 10 mg/m³ luft (5 ppm). För kväveoxid är nivågränsvärdet 30 mg/m³ luft (25 ppm) och korttidsvärdet är 60 mg/m³ (50 ppm) (AFS 2005:17).

Vid förbränning bildas nästan alltid även en liten mängd dikväveoxid (lustgas). Till skillnad från övriga kväveoxider verkar lustgas inte försurande. Det största problemet med lustgas är dock dess förmåga att bryta ner ozon i stratosfären. Under inverkan av solljus sönderfaller dikväveoxid till kvävemonoxid.

Lustgas har en narkotisk effekt samt att den, vilket hörs på namnet, har en berusande effekt. Den största faran med lustgas är att den minskar mängden vitamin B₁₂ i kroppen. Långvarig eller frekvent användning av lustgas och för lågt intag av vitamin B₁₂ kan därför ge bristsjukdomar vilket kan leda till symptom såsom blodbrist, trötthet samt retlighet. Kroppens behov av vitamin B₁₂ är mycket litet och det kan därför dröja många år utan tillskott innan eventuella bristsymptom visar sig.

Dikväveoxid utgör dock ingen större hälsofara eftersom gasen är stabilare än både kväveoxid och kvävedioxid samt att den bildas endast i relativt små mängder vid bränder. Nivågränsvärdet för dikväveoxid är 180 mg/m³ luft (100 ppm) och korttidsvärdet är 900 mg/m³ luft (500 ppm) (AFS 2005:17).

Svaveldioxid, SO₂

Svaveldioxid är en färglös gas som är lös i vatten. Svaveldioxid kan transporteras långa sträckor från utsläppskällan beroende på att det är ett relativt stabilt ämne (Larsson et al, 2002).

Mängden svaveldioxid i utsläppet beror på bränslets svavelinnehåll (Sterner, 2003). Det är främst fossila bränslen i oraffinerad form (kol, råolja) som innehåller svavel men även vid förbränning av t.ex. gips och gummi bildas svaveldioxid. Trä och naturgas har ett svavelinnehåll på mindre än 0,1 procent. Kol och råolja innehåller betydligt mer svavel med halter på mellan 0,1 och 5 procent.

Svaveldioxid tas upp i de övre delarna av luftvägarna där den orsakar irritationer och retningar på slemhinnorna som klär luftvägarna. Gasen kan kondensera på luftburna partiklar och där oxideras vidare till svavelsyra och andra sura sulfater. I de fall partiklarna är tillräckligt små, mindre än 10 µm i diameter, kan de andas in och orsaka skador på andningsorganen. För partiklar med en aerodynamisk diameter på mindre än 1 µm kan deponering ske i de djupare delarna av lungorna. Närvaro av stoft och partiklar förstärker alltså svaveldioxidens toxiska effekter genom att gasen ges möjlighet att transporteras längre ner i lungorna än om den andats in i gasform.

Epidemiologiska undersökningar visar på att det finns ett samband mellan höga koncentrationer av sura sulfater och effekter såsom ögonirritationer, irritationer i luftvägarna, astma och kronisk bronkit. Dessa effekter förstärks betydligt vid närvaro av sot och partiklar (Grennfelt et al, 1991).

Halten svaveldioxid i utomhusluft bör ej överskrida 5 µg/m³ (0,002 ppm) angivet som årsmedelvärde (SFS 2001:527). Nivågränsvärdet för svaveldioxid är 5 mg/m³ luft (2 ppm). Takgränsvärdet är 13 mg/m³ luft (5 ppm) (AFS 2005:17).

Isocyanater

Isocyanater används bland annat vid tillverkningen av olika isoleringsmaterial, färger, plaster, gummimaterial, elektronikkomponenter och i liminnehållande fibrösa material. Vid brand i sådana föremål kommer därför en ganska stor mängd isocyanater att frigöras, eftersom föreningarna återbildas när material som innehåller isocyanater upphettas. Redan vid låga temperaturer (cirka 150°C - 200°C) kan isocyanater avges till omgivningen från det upphettade materialet (Spanne, 2001). Har man kväveinnehållande föreningar som upphettas finns det en risk att monoisocyanater bildas.

Vanliga isocyanater som bildas vid förbränning av spånskivor är metylisocyanat (MIC) och isocyansyra (ICA).

Kännetecknande för de föreningar som ingår i gruppen isocyanater är att de innehåller den karakteristiska gruppen $-N=C=O$ på en alkylkedja eller en aromatisk ring. Föreningarna förekommer både i gasform och i absorberad form på ytor av partiklar. Beroende på bränslets egenskaper och brandgasernas temperatur kommer fördelningen mellan gasfas och partikelfas av frigjorda eller producerade isocyanater att se olika ut. En del material producerar större andel isocyanater i gasform än andra. Undersökningar av brandrök har visat att isocyanater, förutom föreningar som kolmonoxid och vätecyanid, utgör den största hälsofaran vid brand och bör därför alltid tas med vid riskbedömningar av brandrök (Hertzberg, et al, 2003).

Redan vid låga koncentrationer orsakar isocyanater allvarliga lungskador. Exponering av isocyanater kan ge effekter alltifrån lättare andningsbesvär till livshotande symptom, där andning och lungfunktion kan slås ut. Tillsammans med andra giftiga gaser som t.ex. ozon och nitrösa gaser kan isocyanater ta sig ner till lungornas djupare delar, alveolerna. I lungorna kan gaserna orsaka lungödem med inre kvävning som följd (Sterner, 2003).

Koncentrationer på 2,5 ppm i luften kan ge allvarliga lungskador (NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health). Nivågränsvärdet för diisocyanater är 0,002 ppm och takgränsvärdet är 0,005 ppm (AFS 2005:17). För monoisocyanater gäller för MIC (metylisocyanat) nivågränsvärde 0,01 ppm och takgränsvärdet 0,02 ppm och för ICA (isocyansyra) nivågränsvärdet 0,01 ppm nivå och takgränsvärdet 0,02 ppm. För FI (fenylisocyanat) gäller nivågränsvärdet 0,005 ppm och takgränsvärdet 0,01 ppm (AFS 2005:17).

Dioxiner

Dioxin är ett organiskt miljögift som innefattar två olika komponentgrupper, polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och polyklorerade dibensofuraner (PCDF). Det finns 210 olika typer av dioxiner men normalt avses någon av de tio giftigaste föreningarna. Föreningarna bildas vid all typ av förbränning, framförallt vid förbränning av klorinnehållande avfall. Det kanske mest kända dioxinet är 2,3,7,8-tetraklorbenso-p-dioxin, TCDD, vilket är ett av de starkaste gifterna man känner till. Det var bland annat denna förening som 1976 läckte ut och exponerade tusentals människor i Seveso i Italien i samband med en explosion i en kemisk fabrik (Larsson, et al, 2002). Det finns ingen medveten tillverkning av dioxiner utan de bildas alltid som en oönskad biprodukt vid förbränningsreaktioner.

Mekanismerna bakom bildningen av dioxiner i samband med bränder är i stor utsträckning fortfarande okända. Föreningarna har visat sig bildas sekundärt i ett temperaturintervall på mellan 200°C och 650°C, vilket är ett vanligt förekommande temperaturintervall vid bränder. Dioxiner kan antingen bildas genom syntes på en kolyta, vid reaktioner av klorerade

organiska föreningar eller genom kondensationsreaktioner mellan mindre organiska föreningar. Precis som för andra förbränningsprodukter påverkar temperatur, syretillgång, närvaron av andra ämnen samt bränslets egenskaper produktionen av dioxiner. Även partikelkoncentrationen i brandgaserna är av betydelse för produktionen av dioxiner (Blomqvist, et al, 2002).

Dioxinhalten anges ofta i så kallad toxiska ekvivalenter, TEQ. Dessa utgörs av summan av enskilda kongeners koncentrationer multiplicerat med deras respektive toxiska ekvivalentfaktor, TEF. Toxisk ekvivalentfaktor (TEF) för ett dioxinliknande ämne baseras på en sammanvägning av alla hittills tillgängliga toxicitetsstudier av dioxiner. TEQ har skapats för att förenkla riskbedömningar och regleringen av dioxiner och dioxinlika ämnen som återfinns i miljön (Edling, et al, 2000).

Dioxiner löser sig dåligt i vatten och anrikning av föreningarna i naturen sker därför i kolhaltigt material och i fettvävnader hos högre levande organismer (Blomqvist, et al, 2002). En del dioxiner är mycket giftiga och kan orsaka cancer redan i mycket låga koncentrationer. Andra effekter som kan uppstå i samband med exponering av dioxiner är störningar på centrala nervsystemet och fortplantningsmekanismen, vikt förlust, leverskador och försvagat immunförsvar (Larsson, et al, 2002).

Vätecyanid, HCN

Vätecyanid bildas vid förbränning av kväveinnehållande material som till exempel ull, silke, nylon och polyuretan. Det är en mycket giftig gas och vid inandning leder den snabbt till kvävning med död som följd. Gasen är brännbar och vid tillräckligt höga temperaturer och om det finns tillräckligt med syre närvarande förbrukas det mesta av den genererade gasen genom förbränning. De produkter som då bildas är istället kvävgas, kolmonoxid och koldioxid (Andersson, 2003).

Tillsammans med andra gaser som t.ex. kolmonoxid blir den toxiska effekten av vätecyanid betydligt större. Detta är ett exempel på synergistisk samverkan, d.v.s. den totala toxiska effekten blir större med gaserna tillsammans än var för sig.

Takgränsvärdet för vätecyanid är 5 mg/m³ luft (AFS 2005:17).

Sot och andra partiklar

Sot och andra partiklar genereras ur såväl fasta som vätskeformiga och gasformiga bränslen. Beroende på vilken typ av förbränning som sker kommer de genererade partiklarna att vara av olika karaktär. Med sot avses partiklar av organiskt material (Hertzberg, et al, 2003). Vid bränder bildas också oorganiska partiklar, vilket ibland kallas flygaska. Oorganiska partiklar innehåller bland annat tungmetaller (Akselsson, et al, 1994).

Partiklar som bildas vid kemisk nedbrytning av organiskt material, dvs. vid glödbland, och som återfinns i brandgaser har i allmänhet en diameter på cirka 1 µm. Partiklarna har hög molekylvikt och kondenserar därför när de kyls i samband med inblandning av kall luft som sker då brandgaser strömmar till exempel genom ett utrymme. Detta ger en brandrök som påminner om en vätskeliknande aerosol innehållande tjära och andra vätskor med hög kokpunkt.

Vid flamförbränning består röken nästan uteslutande av fasta partiklar. Merparten av partiklarna bildas i gasfasen som ett resultat av ofullständig förbränning, pyrolys vid hög temperatur och låg syrekonzentration (Drysdale, 1998).

Mängden partiklar som genereras i samband med bränder är starkt beroende av vilka material som brinner. Även partiklarnas egenskaper bestäms i stor utsträckning av materialet. Generellt gäller att för material som har svårare för att antändas bildas en större mängd partiklar än när till exempel mer lättantändliga träbaserade material brinner. Brännbara ämnen i trä oxideras i betydligt högre utsträckning och det sker således också en mer fullständig förbränning jämfört med många andra material. Exempel på några material som genererar stora mängder partiklar är PVC och andra halogenerade kolväten.

Organiska partiklar utgör en särskild hälsofara, eftersom andra toxiska organiska ämnen kan vidhäfta på partikelytan och följa med partikeln ner i lungorna vid inandning. Exempel på en sådan förening är PAH (se ovan).

Temperaturen i branden är avgörande för vilka partiklar som bildas. Vid temperaturer på mellan 400°C och 500°C kondenserar oorganiskt material bestående av olika salter från bland annat alkaliska metaller såsom kalium och natrium. Vid kondensationen bildas aerosoler, dvs. partiklar innehållande olika faser. Vid högre temperaturer på mellan 700°C och 1500°C bildas i huvudsak sot och fasta partiklar. Vid lägre temperaturer omkring 250°C kan istället svavelsyra bildas genom kondensation ur luftens svaveldioxid och vattenånga (Hertzberg, 2000).

Sotbildning är den i särklass största källan till partikelbildning vid bränder (Hertzberg, 2000). Beroende på bränslets egenskaper och vilka brandförhållanden som råder kan mellan 1 och 20 viktprocent av bränslet omvandlas till sot och partiklar. Mängden sot som genereras i en brand påverkar också hur snabbt branden sprider sig. Det är de varma sotpartiklarna i brandgaserna som ger upphov till den ofta intensiva värmestrålningen till omgivningen. Bildas det mycket sot blir värmestrålningen till omgivningen högre och temperaturen stiger. Dessutom förhindrar närvaron av sotpartiklar syresättningen av bränslet i samband med oxidationen, vilket i sin tur ytterligare bidrar till ytterligare ofullständig förbränning. Produktion av ofullständiga förbränningsprodukter såsom sotpartiklar och andra toxiska ämnen som kolmonoxid accelereras då ytterligare (Touvinen, 2002).

Partiklar med en diameter på mellan 10 och 100 nm kan oxideras i flammen. För att oxidation ska ske krävs det att temperaturen är åtminstone 1000°C (Bengtsson, 2001). Det krävs också att det finns tillräckligt med syre. Är så inte fallet, växer partiklarna i storlek och bildar genom sammanslagning av partiklar större agglomerat som sedan försvinner från flammen i form av rök (Drysdale, 1998).

Bland partiklar från bränder ingår även tungmetaller, ofta absorberade på ytan av andra partiklar. I denna grupp ingår metaller vars densitet överstiger cirka 5 g/cm³ (5000 kg/m³). Uppmärksammade metaller inom denna grupp är kvicksilver (Hg), bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu) och zink (Zn). Andra metaller som ingår i gruppen är nickel (Ni), molybden (Mo), krom (Cr), mangan (Mn), tenn (Sn) och kobolt (Co). Arsenik (As) brukar även tas med i denna grupp, trots att det egentligen inte är någon tungmetall (Larsson, et al, 2002). Många av tungmetallerna är toxiska (kvicksilver, kadmium, bly), medan andra förekommer i naturen och är nödvändiga för många levande organismer, inklusive människor. Exempel på några livsnödvändiga metaller är järn (Fe), mangan (Mn) och zink (Zn). I allt för stora mängder kan dock även dessa metaller ge negativa effekter på människor, djur och natur (Grennfelt, et al, 1991).

Olika tungmetaller påverkar kroppen på olika sätt. En del tungmetaller är giftiga för den mänskliga organismen redan i sin metalliska grundform, i vissa fall i gasfas, men de flesta återfinns normalt i någon förening. En sådan välkänd förening är tetraetylblead, som länge varit en tillsats i bensin. Skador till följd av exponering av tungmetaller varierar från störningar i mag-tarmkanal och njurskador, till nervskador och skador på muskler och blodbanor. Symptomen varierar givetvis därefter (Lidman, 2008).

Nivågränsvärdet för inhaledbart oorganiskt damm är 10 mg/m³ luft och som respirabelt damm 5 mg/m³. För organiskt damm är nivågränsvärdet 5 mg/m³. För vissa speciella ämnen hos de luftburna partiklarna kan nivågränsvärdet vara mycket lägre. För bly (som respirabelt damm) anges gränsvärdet 0,05 mg/m³ (AFS 2005:17, SS-EN 481).

För inandningsbara partiklar (PM10) bör dygnsmedelvärdet för partikelhalten i luften inte överstiga 30 µg/m³ (utomhus/omgivningsluft). Motsvarande värde angivet som årsmedelvärde är 15 µg/m³. För sot (organiska partiklar) anges ett årsmedelvärde på 10 µg/m³ (SFS 2001:527).

3. Påverkan på människokroppen

För att överhuvudtaget få en påverkan på människokroppen, krävs först och främst exponering av ett ämne. Exponeringen innebär att ämnet kommer i kontakt med någon del av kroppen där upptag kan ske. Om exponering inte sker, erhålls inte heller någon påverkan. Utgångspunkten för ett bra skydd är således att inte exponera kroppen överhuvudtaget, något som tyvärr inte alltid är praktiskt möjligt.

För påverkan krävs också en viss dos av ämnet och ju större dos, desto större blir normalt även påverkan (Lidman, 2008).

Ytterligare ett problem i sammanhanget, är att exponering av flera olika ämnen samtidigt kan leda till synergieffekter. Ett ämne som vid en viss dos inte påverkar kroppen i någon större utsträckning, kan således få en mycket större påverkan om kroppen samtidigt exponeras för ett annat ämne. Kopplingen till partiklar kan göra att kroppen exponeras för det farliga ämnet under längre tid samt att ämnet transporteras längre ner i lungorna där kroppens eget skydd är sämre (Lidman, 2008).

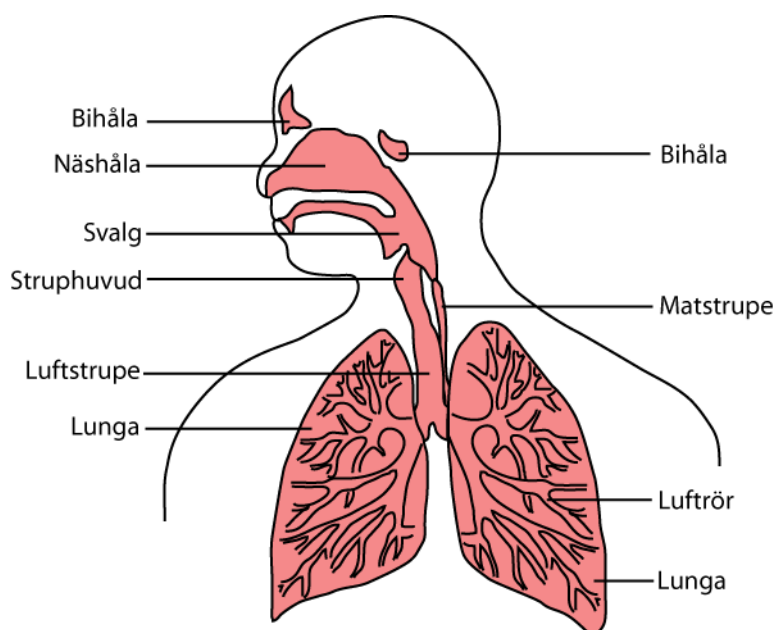
Det finns således också en tidsdimension på exponeringen, vilket kan ge upphov till akut, subkronisk eller kronisk påverkan.

Slutligen kan man också säga att olika ämnen påverkar individer olika. Vi är helt enkelt olika känsliga för variationer i ämne, dos, exponeringstid och synergieffekter. Det enklaste exemplet på detta är allergier av olika slag (Olofsson och Dufva, 2006).

Kroppens upptag av gaser och partiklar

Kroppens upptag av gaser och partiklar sker i huvudsak genom lungorna, mag-tarmkanalen, och huden. För gaser, och till viss del även partiklar, är det lungorna som är den absolut viktigaste upptagsvägen (Sterner, 2003). För partiklar är även mag-tarmkanalen en upptagsväg, genom att de partiklar som inandas till viss del blandas med saliv och sväljs. Hur snabbt upptaget sker beror i första hand på antalet cellager som ämnena måste passera för att nå blodet. Upptag via lungorna går snabbast, via mage och tarm därefter och långsammast via huden. Hur lätt det sker beror också på ämnets fysikaliska egenskaper såsom t.ex. fettlöslighet, vattenlöslighet och molekylstorlek.

Andningsvägarna består av de övre luftvägarna (näsa, svalg och struplock) samt de nedre luftvägarna (struphuvud, luftstrupe, lufrör och lungblåsor), figur 2. De övre luftvägarna har i huvudsak till uppgift att värma, befukta och till viss del filtrera den luft som andas in. De nedre luftvägarnas uppgift är framförallt att transportera syrgas till blodet samt att transportera bort restprodukter, huvudsakligen bestående av koldioxid.



Figur 2; Luftvägarna, mm.

Det egentliga gasutbytet sker i lungblåsorna, alveolerna (den alveolära regionen). Människan har cirka 350 miljoner alveoler per lungor och lungvävnadens yta är cirka 100 m^2 . Normalt tar vi i vila cirka 12 – 13 andetag per minut (barn ~20). Lungvolymen är cirka 6 liter för en vuxen man. För att syret lättare ska kunna diffundera ut i blodet finns det i den alveolära regionen en endast två celler tunn vägg med en tjocklek på cirka $1 \mu\text{m}$ mellan blodet i de tunna blodkärlen och luften i alveolerna (Birgersson et al, 1995). Beroende på gasers förmåga att binda sig till hemoglobin, tas dessa upp olika lätt av kroppen. En gas med högre affinitet än syre, såsom kolmonoxid, tas således upp lättare av blodet än syre. Men även gaser med lägre affinitet än syre tas givetvis upp av blodet och kan då påverka kroppen.

I de övre luftvägarna kommer även gaser som är reaktiva och lösliga i vatten att lösa sig i det fuktiga slemlaget som klär andningsvägarna. Längre ner i luftrören är slemhinornas slemlager tunnare och föreningar kan lättare tränga igenom och orsaka lokala skador och ge upphov till inflammationer i luftvägarna.

Måttligt vattenlösliga gaser som tränger ner till alveolerna kan där orsaka lungödem med inre kvävning som följd. Detta beror på att sådana gaser skadar cellerna i alveolerna. De skadade cellerna läcker ut vätska till omgivningen vilket leder till en vätskeansamling i alveolerna. Luftens syre kommer då inte kunna diffundera genom lungväggen ut till blodet tillräckligt effektivt. Följden blir att det uppstår syrebrist i kroppens alla organ. Tillståndet är mycket allvarligt och kan leda till döden. Lungödem tar normalt tid att utveckla och den som exponerats för den här typen av ämnen bör hållas under observation under de närmsta 48 timmarna efter exponeringen (Sternner, 1999).

Om en gas kondenserar på ytan av en partikel kan den tränga djupare ner i lungorna än om exponeringen sker direkt genom inandning. Härigenom kan en större mängd av ämnet transporteras till lungorna och exponeras för blodet.

Skillnader i partikelstorlek gör att partiklar som kommer ner i luftvägarna deponeras på olika ställen i andningsapparaten. Partiklar större än 5 μm deponeras främst i de övre luftvägarna, genom impaktion. Vid impaktion får tröghetskrafterna i partiklarnas rörelse dessa att fortsätta rakt fram vid kurvor istället för att följa den avböjande luftströmmen. Partiklarna fastnar därmed i de slemhinnor som klär luftvägarna. Ju större partiklarna är desto påtagligare blir impaktionen.

Partiklar med 3-5 μm i diameter deponeras i de nedre luftvägarna. När den inandade gasen kommer ner i luftrören (bronkerna) avtar luftens hastighet, eftersom tvärsnittsarean i luftvägarna blir större i och med den ökade förgreningen.

Partiklar mindre än 2 μm kan nå alveolerna där de deponeras genom sedimentation. Den andel partiklar som når den alveolära regionen brukar benämnas den respirabla partikelfraktion.

Partiklar med diametern 0,3 μm kommer till viss del att andas ut igen.

Partiklarnas påverkan på kroppen beror på partiklarnas fysikaliska, kemiska och biologiska egenskaper. Bland annat är uppehållstid och nedbrytningshastigheten i lungorna av betydelse.

Kroppen har ett antal mekanismer som är till för att skydda mot gaser och partiklar i andningsluften. De övre luftvägarna samt bronkerna är klädda med flimmerhår, cilier. Dessutom finns det celler som producerar ett skyddande slemlager (Hinds, 1999). I slemlagret löser sig vattenlösliga gaser. Cilierna transporterar slemlagret upp ur lungorna mot svalget med rytmiska rörelser. I svalget kommer det upptransporterade slemmet reflexmässigt att sväljas eller spottas ut. Ämnen som fastnar i slemlagret och sedan svalts ner i mag-tarmkanalen kan där tas upp av kroppen. Vid höga koncentrationer av vattenlösliga gaser hinner inte allt lösa sig i slemmet, varför gaserna tränger ner i lungorna. Exempel på vattenlösliga gaser är syror och baser, till exempel väteklorid (HCl), vätefluorid (HF), svaveldioxid (SO₂) och ammoniak (NH₃).

I de övre luftvägarna finns också känsliga nervceller som ska förhindra att stora mängder vattenlösliga gaser och ångor andas in. På grund av till exempel en ändring av pH i slemlagret känner nervcellerna av om en främmande gas eller ånga löser sig där. Nervcellerna startar då retningsreaktioner såsom hosta och nysningar, vilket förhindrar inandning av det irriterande ämnet (Birgerson et al, 1995).

Mindre vattenlösliga gaser når lättare till bronkerna och kanske ända ner till de fina luftvägarna och alveolerna. Dessa föreningar är vanligen mindre aktiva på irritantreceptorer. Exempel på sådana ämnen är isocyanater, klor (Cl), ozon (O₃), fosforklorid (PCl₅) samt kvävedioxid (NO₂).

Fettlösliga gaser når alveolerna, i vissa fall utan att man märker det, speciellt om det är fråga om mer eller mindre luktlösa ämnen som inte, eller i ringa mån, påverkar sensoriska receptorer. Därmed utlöses inga alarmsignaler i form av hosta eller nysningar, vilket försvårar skyddet mot dessa ämnen som ger systemiska eller lokala skador. Exempel på fettlösliga gaser är organiska lösningsmedel och vätecyanid (HCN).

Eftersom alveolerna saknar flimmerhår sker ingen mekanisk borttransport av partiklar från denna del av lungorna. De ämnen som inte löser sig kan därför stanna kvar i alveolerna under en längre tid (Phalen, 1984). Partiklar som når ända ut i alveolerna kan dock tas om hand av makrofager, vilket är ett slags celler som ingår i immunförsvaret. Makrofagerna försöker att bryta ner de i lungorna deponerade partiklarna genom att omsluta dem med så kallad fagocytos. I samband med fagocytosen utsätts partiklarna för nedbrytande enzymer. Makrofagerna klarar inte alltid av att eliminera alla föreningar som deponeras i alveolerna. Deponerade ämnen kan då orsaka irritationer och inflammationer i lungorna (Birgersson et al, 1995).

Beroende på partiklars fysikaliska, biologiska och kemiska egenskaper utgör de mer eller mindre allvarliga hälsorisker vid exponering. I många fall är det inte partikeln i sig som är den största hälsorisken, utan dess toxicitet orsakas istället av de föreningar som följer med partikeln (Andersson, 2003). Många toxiska föreningar kan inte komma ner i andningsapparaten men när föreningarna är bundna till partiklar har de möjlighet att ta sig ner i lungorna. De medföljande föreningarna blir inte lika reaktionsbenägna som när de andas in i gasform och reagerar därför inte med omgivningen i andningsvägarna i lika hög utsträckning (Sternner, 2003).

Partiklarnas kemiska och fysikaliska egenskaper styr till stor del vilka ämnen de bär med sig vid inandning. Faktorer som är av betydelse för var partiklarna deponeras i andningsvägarna är partikelns storlek, densitet och form. En partikels hygroskopiska egenskaper, d.v.s. partikelns förmåga att ta upp vatten från omgivningen, är också av betydelse för var de kommer att deponeras i luftvägarna. Även om det bara är små mängder partiklar, kan partiklar utgöra en hälsorisk.

Den totala massan partiklar utgörs i huvudsak av partiklar med en aerodynamisk diameter större än 1 µm. Dock dominerar fraktionerna med en diameter på mindre än 1 µm till antalet. Att de små partiklarna är många till antalet gör att de bidrar med en stor yta på vilken andra föreningar kan kondensera och absorbera. Exempel på sådana föreningar är polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Andra ämnen är tungmetaller, dioxiner och isocyanater (Grennfelt, et al, 1991).

De ämnen som hamnar i mag-tarmkanalen ger normalt ingen skada här, under förutsättning att de inte är frätande eller irriterande. Skadorna uppstår först när ämnet tagits upp i blodet. Upptaget kan ske överallt i mag-tarmkanalen men merparten sker i tunntarmen och det främsta transportsättet är diffusion, dvs. att ämnet diffunderar genom tarmväggen. Då mag-tarmkanalens främsta uppgift är att ta upp näringsämnen finns det också flera aktiva transportssystem som i många fall bidrar till upptaget av skadliga kemikalier.

Exponeringstid är den tid under vilken man utsätts för ämnet. Vid exponering via hud eller ögon är exponeringstiden den tidsperiod under vilken ämnet har direktkontakt med dessa. Både vid inhalation och vid exponering av hud eller ögon kan ett ämne, genom att det absorberats i vävnaderna, fortsätta att utöva sin effekt efter det att den direkta exponeringen upphört.

Ett ämnes kemiska egenskaper påverkar såväl hur ämnet transporteras, som hur stort upptaget i vävnaden blir och hur det påverkar individen (Birgerson et al, 1995). Vävnadens benägenhet att binda främmande ämnen är också avgörande för hur ämnet kommer att tas upp. Vissa ämnen ansamlas i endast ett eller några få organ, medan andra fördelar sig jämnt i hela kroppen. När ett ämne väl har nått blodbanan kan det spridas i hela kroppen och således påverka flera olika organ.

Föreningar som binder till proteiner i blodet (främst vattenlösliga ämnen) transporteras långsammare genom cellmembran och blir därmed kvar längre tid i blodet. Bindningar till proteinerna är reversibla, vilket betyder att de bryts efterhand som den fria mängden av ämnet i blodet minskar. Detta sammantaget gör att exponeringstiden förlängs men koncentrationen blir lägre. Fettlösliga ämnen däremot tar sig lätt igenom membran i olika organ. Substanserna transporteras med blodet till sina målorgan eller till olika depåer.

Fettlösliga ämnen har ofta ett kritiskt organ som påverkas i långt större utsträckning än andra organ, medan vattenlösliga ämnen kan återfinnas i och påverka en mängd olika organ. Organ med stor blodtillförsel, såsom lever och njurar, är mer utsatta för främmande ämnen än andra organ. I blodet, muskelvävnaden och ögonkroppen hamnar ämnen som är vattenlösliga och opolära. Föreningar som är positivt laddade binds till DNA, medan negativt laddade ämnen hellre dras bland annat till det positivt laddade proteinet albumin i blodet (Sternner, 2003). I fettvävnaden anrikas fettlösliga kemikalier som till exempel miljögifterna DDT (diklordifenyltriklorethan eller 1,1,1-triklor-2,2-bis(4-klorfenyl)etan) och PCB (polyklorerade bifenyler). I själva fettvävnaden gör ämnena ingen skada, men ämnena kommer så småningom att avges till blodet. När de anrikas i organ som benmärg och hjärna kan de orsaka störningar på framförallt nervsystemet (Birgerson et al, 1995).

I blodet binds vattenlösliga ämnen ofta till proteiner vilket bidrar till att ämnena transporteras långsammare in genom olika membraner. Uppehållstiden i blodet blir därför längre och blodet tar på så sätt hand om ämnen för att de inte ska släppas ut i för stora doser i kroppen (Birgerson et al, 1995).

Beroende på att metabolismen skiljer sig mellan olika arter kommer också toxiciteten av olika ämnen att skilja sig åt (Sternern, 2003). Metabolismen av främmande kemikalier katalyseras av olika enzymssystem vilka används vid individens normala metabolism av näringsämnen. Beroende på att enzymsystemen varierar mellan olika arter kommer också toxiciteten och känsligheten för olika nedbrytningsprodukter att variera. Variationer i enzymaktiviteten mellan olika individer inom samma art påverkar också toxiciteten av de metaboliter som bildas (Birgerson, et al, 1995). Sådana skillnader kan också observeras mellan könen inom samma art beroende på att deras ämnesomsättning skiljer sig åt i vissa avseenden (Sternern, 2003). Även individens ålder och fysiska hälsa spelar in när ett ämnes toxiska effekt ska bedömas. Exempelvis har spädbarn inte ett fullt utvecklad metaboliskt system vilket medför en ökad känslighet för en del toxiska ämnen. Inte heller blodhjärnbarriären är fullt utvecklad vilket gör att föreningar lättare kan ge skador på centrala nervsystemet. Även åldrande människor har en ökad känslighet för främmande ämnen i kroppen beroende på deras nedsatta motståndskraft och försämrade immunförsvar (Sternern, 2003). Individuella variationer avseende inandningsvolym och hjärtats pumpkapacitet leder också till olikheter i effekt av toxisk påverkan i (Birgerson, et al, 1995).

Många föreningar som tas upp i organismen är olösliga i vatten och måste metaboliseras innan de kan utsöndras. Leverceller är de celler som har störst förmåga att metabolisera fettlösliga ämnen så att de blir mer vattenlösliga, men även i lungor, njurar, tarmceller och blod kan metabolisering ske. Att en kemikalie blir mer vattenlöslig behöver dock inte vara synonymt med att den blir mindre giftig. Det kan tvärtom vara så att det bildas mer toxiska metaboliter. Ett exempel på detta är det cancerframkallande ämnet benso(a)pyren, en av många PAH-substanser vilka förekommer i förbränningssammanhang.

Ett stort problem är att många ämnen kan påverka varandras toxiska effekter. Kunskapen om samverkan mellan olika ämnens effekter är idag inte fullständig. Eftersom rökgaser består av en mängd olika ämnen komplicerar detta utredningen av vilka toxiska effekter gaserna har på människor, djur och växter. Vissa ämnen förstärker varandras toxicitet, så kallad synergistisk effekt, och resultatet blir att ämnena tillsammans ger en större toxisk effekt än summan av de enskilda ämnens toxiska effekt var för sig (Birgerson, et al, 1995). Ämnen med likartade effekter ger ofta en additiv effekt. Deras sammanlagda effekt är lika stor som summan av de enskildas effekter. Det finns också ämnen som motverkar varandra och ger en antagonistisk effekt (Birgerson, et al, 1995).

Undersökningar har kunnat påvisa en direkt korrelation mellan höga partikelhalter och en ökad dödlighet (Dockery, et al, 1993; Bellander, et al, 1999).

Den fysiologiska påverkan till följd av att den mänskliga organismen utsätts för toxiska ämnen kan i stort sammanfattas med störningar i (Lidman, 2008):

- Muskelfunktionen

En korrekt kalciumbalans är viktig för musklernas grundläggande funktion, inklusive skelettmuskler, glatta muskler och hjärtmuskel. Ämnen som stör denna balans och till exempel vitamin D-metabolismen bör visas särskild hänsyn, inte minst i det långa perspektivet. Även ämnen som bryter ner nerv-muskelförbindelserna är viktiga att beakta.

- Nervfunktioner

Många ämnen, i synnerhet lipofila (fettlösliga) med förmåga att passera blod-hjärnbarriären, har sin målvävnad i hjärna och ryggmärg med mer eller mindre specifika verkningsmekanismer och påföljande perifera eller centrala symptom. I denna grupp av ämnen ingår vissa tungmetaller och organiska lösningsmedel. Effekterna kan ge störningar i minne, inlärning, beteende, personlighetsförändringar, mm.

- Leverfunktioner

Levern spelar en viktig roll som centrum för metabolism och för elimination av många toxiska ämnen. I samband med nedbrytningen bildas ofta reaktiva metaboliter med förutsättningar att reagera med och skada olika cellkomponenter.

- Njurfunktioner

Njurarnas förmåga till hög omsättning och urinbildning kan leda till mycket höga och lokala koncentrationer av toxiner i njurvävnaden och därmed kraftig exponering. Njurarna är också viktiga organ för osmos- och jonreglering samt pH-reglering. Välkända ämnen som påverkar njurarnas funktion är kvicksilver, kadmium, krom och silver.

- Lungfunktioner

Lungorna stora yta, lättgenomsläppliga epitel samt stora blodcirkulation gör dessa till känsliga för en lång rad ämnen. Ytspänningsnedsättande ämnen, såsom detergent eller aerosoler av lipofila lösningsmedel och petroleumprodukter, leder snabbt till

skador på lungvävnaden, vilket i sin tur ger upphov till försämrad syresättning av blodet. Dessutom gör de lättgenomsläppliga epitelen att olika ämnen snabbt tas upp av blodbanan genom lungorna.

- Blodcellsbild och syretransporterande förmåga

Ämnen som påverkar hemoglobinet syretransporterande förmåga har en direkt påverkan på kroppens funktioner. Så kan till exempel redan låga halter av kolmonoxid leda till undanträngning av syre och därmed till kraftig minskning i cellernas syreförsörjning och därmed en direkt effekt på kroppens samtliga organ.

- Immunologi

Ämnen som påverkar kroppens eget immunförsvar, i stor utsträckning bildandet av vita blodkroppar, kan ge effekter på framförallt lång sikt. Bristen på vita blodkroppar gör att kroppen inte längre kan hantera de smittämnen den utsätts för.

- Cirkulation och effekter på blodkärl

Ämnen som påverkar blodvolym, puls, hjärtmuskel, blodtryck, förändrat strömningsmotstånd, påverkar givetvis fördelningen av blod till olika organ och därmed även syresättningen samt borttransporten av toxiner och metaboliter.

- Hormonell reglering inklusive reproduktion

Många ämnen, i synnerhet sådana som lagras i kroppen, kan ha en långsiktig effekt på kroppens hormonella balans. Detta kan i sin tur leda till en lång rad effekter på kroppen, inte minst reproduktionsförmågan.

Man ska samtidigt ha i åtanke att kroppen är en fantastisk apparat, med mycket god förmåga till självläkning. Enstaka eller enskilda ämnen, i måttliga doser, som kommer in i kroppen kan kroppen själv hantera. Problemet uppstår då dosen är hög, då exponeringen är långvarig eller då flera olika ämnen kommer in i kroppen, vilket kan leda till mycket komplicerade synergieffekter. Det är sällan eller aldrig så att endast ett organ eller en funktion påverkas. Många gånger kan det uppstå en effekt som leder till en annan som leder till en tredje, vilket i sin tur återkopplar till den första effekten och kanske förvärrar förloppet. Är det dessutom en kombination av partiklar och gaser, kan detta leda till effekter på kort och lång sikt som kan vara mycket svåra att härleda till en viss exponering. Detta innebär dock att exponeringen måste minimeras i så stor utsträckning som möjligt, oavsett dos eller koncentration av gaser eller partiklar i inandningsluften.

4. Försök

För att utröna vilka ämnen som finns i andningsmiljön i samband med eller i anslutning till främst brandövningar vid Räddningsverkets skolor, genomfördes en studie av arbetsmiljön i samband med övningsverksamheten. Undersökningen genomfördes i huvudsak under vecka 825 och 826, och bestod av två delar. Dels en del (under vecka 825) där gaser och partiklar insamlades i samband med den ordinarie övningsverksamheten. Dels en del (i huvudsak under vecka 826) där kläder som under en period använts under för verksamheten normala förhållanden samlades in, förpackades och sändes iväg för analys.

Genomförande

Mätningarna utfördes av SP (Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB), USÖ (Universitetssjukhuset i Örebro, Arbets- och miljömedicinska kliniken) samt Bodycote Materials Testing AB. De i rapporten redovisade resultaten, i huvudsak i form av tabeller och diagram, är hämtade från resultatredovisningen från respektive organisation (Rosell, 2008, Langer, 2008 samt Andersson & Kling, 2009), . Platsen för mätningarna var vid Räddningsverkets skola i Revinge.

Mätmiljöer

Undersökningen i samband med brandövningar bestod av ett antal olika luftprov. Provtagning skedde vid ett flertal olika platser, i samband med ordinarie övning samt vid särskilt anordnat tillfälle som var representativt för övningsverksamheten. Dessutom skedde provtagning i omklädningsrum. Även personlig skyddsutrustning samlades in och analyserade med avseende på partiklar som fastnar i utrustningen i samband med övningar.

Mätningar på övningsfältet vid Räddningsverkets skola i Revinge genomfördes vid de övningsanläggningar som benämns Gröna Huset (GH), Brandövningshuset (BÖ), Radhus (Rad) samt Strålförarcontainer (SF).



Figur 3; Gröna huset (GH)



Figur 4; Brandövningshuset (BÖ)



Figur 5; Radhuset (Rad)



Figur 6; Strålförarcontainer (SF)

Vid GH samt vid SF genomfördes mätningarna i samband med för ändamålet arrangerad (fiktiv) övning. Situationen var relevant för den typ av övning som normalt arrangeras i övningsanläggningen. Vid BÖ och vid Rad genomfördes mätningar i samband med ordinarie övningsverksamhet. Övningsscenariot vid BÖ bestod i stort av att ett mindre enmotorigt flygplan hade havererat i anslutning till byggnaden, vilket krävde insats såväl invändigt i byggnaden samt brandsläckning inklusive ett medicinskt omhändertagande utanför byggnaden. Övningsscenariot vid Rad var en mindre villabrand.

I samband övningarna genomfördes även enklare temperaturmätningar på ytan av klädesplagg (ytterplagg) med hjälp av Raytek PM3LS (se tabell 4). Efter 7 minuters vistelse i GH uppmättes yttemperaturen på kläder till 60 – 82°C. Varmast område var bröst, axel och huvud. Efter någon minut knästående i SF uppmättes maxtemperaturen på överkroppen (på ytterplagg) till 182°C. Cirka 10 meter utanför SF uppmättes yttemperaturen på överkroppen till 60 – 70°C.

De bränslen som användes vid GH, BÖ samt Rad bestod av ved (förpackad i vävsäckar) (figur 7), träull i så kallad röktunna (figur 8) samt vid BÖ även mindre mängder träfiberskiva indränkt i dieselolja. Ved används dels för att få en varm miljö, dels för att ge kursdeltagarna en situation som kräver brandsläckning. Dieselolja kan användas vid vissa tillfällen, då övningsledningen tydligt vill markera brand i flygbränsle eller motsvarande. Detta ställer krav på andra släckmedel än endast vatten och då även andra taktiska val än vid brand i fibrösa material som till exempel i en byggnad. Röktunnor används för att producera varma och ogenomsiktliga brandgaser. I dessa eldas fuktig träull under begränsad lufttillförsel.



Figur 7; Ved och vedhantering vid övningar



Figur 8; Röktunna

Övningen vid SF genomfördes på grund av de höga temperaturer som här kan uppnås. Övningsanordningen eldas med gasol och används för träning av strålförarteknik, dvs. kursdeltagaren kan här tränas i att använda olika typer av strålrör och system för brandsläckning. På grund av de höga temperaturerna och övningsanordningens konstruktion (målad stålcontainer) kan andra typer av ämnen frigöras från denna och påverka den inandade miljön i en annan utsträckning än vid andra övningsanordningar.

Tabell 3; Översikt över mätplatser på övningsfält

Övningsplats	Benämning	Bränsle	Mättid för gas och partiklar
Gröna Huset	GH	Ved, tändvätska samt träull i röktunnor	50 minuter
Brandövningshuset/flygolycka	BÖ	Ved, tändvätska, träull i röktunnor samt träfiberskiva indränkt i dieselolja	47 minuter
Radhus	Rad	Ved, tändvätska samt träull i röktunnor	35 + 47 minuter
Strålförarcontainer	SF	Gasol	35 minuter

Mätningar i omklädningsrum skedde över en längre tid. Utöver att mäta koncentrationen av hälsovådliga partiklar och gaser, var syftet att eventuellt korrelera uppmätta resultat med personalens rörelser i utrymmena över dygnet. Generellt kan redan här nämnas att förväntade mätvärdestoppar var i samband med ombyte på morgonen, i samband med lunch samt vid arbetstidens slut. Mätningar genomfördes i det så kallade grova omklädningsrummet, i det rena omklädningsrummet samt i torkrum, under cirka 1 dygn i varje del.

I det grova omklädningsrummet förvaras yttre personlig skyddsutrustning (så kallade larmkläder i form av byxa och jacka) samt kängor/stövlar, handskar samt hjälm. Utrustningen förvaras i personliga skåp. I det rena

omklädningsrummet förvaras personliga gångkläder, idrottskläder samt inre personlig skyddsutrustning (tröja och byxa att bäras under larmkläder). I direkt anslutning till detta utrymme finns även duschar och bastu.

I torkrummet torkas och korttidsförvaras personlig skyddsutrustning (huvudsakligen den yttre) efter tvätt eller som blivit våta vid användning (i samband med övningar eller på grund av väderförhållanden). Observera att utrustningen tvättas efter behov, vilket sker efter instruktörernas egna individuella bedömningar. Nedsmutsningsgraden kan således variera stort bland kläder i framförallt det grova omklädningsrummet samt i torkrummet. I torkrummet förvaras således kläder med olika grad av nedsmutsning, från nytvättat till tämligen väl använda plagg.

Ventilationen i dessa utrymmen bestod av mekanisk till- och frånluft samt en extra frånluftsfläkt i torkrummet med möjlighet till forcerad ventilation som startades manuellt (tidur). Ventilationssystemet var uppdelat i tre separata delar, herrarnas grovomklädningsrum, herrarnas finomklädningsrum samt damernas omklädningsrum. Det sistnämnda var tidsstyrt och stängdes av under natten. Antalet damer som regelbundet utnyttjar omklädningsrummet är begränsat till cirka två.

Provtagning av gaser och partiklar i samband med brandövningar samt i omklädningsrum/torkrum

Omklädningsrum

Mätning i herrarnas grovomklädningsrum pågick måndag 16 juni 16.00 till tisdag 17 juni 15.30. Mätning i torkrum pågick tisdag 17 juni 16.10 till onsdag 18 juni 11.05. Mätning i herrarnas finomklädningsrum pågick onsdag 18 juni 11.30 till torsdag 19 juni 8.20.

Mätinstrumenten kunde av praktiska skäl inte startas exakt samtidigt varför de i resultaten angivna tiderna för respektive provplats är ungefärlig.

Av mättekniska skäl gjordes också vissa kortare avbrott i mätningarna, i syfte att ladda ner mätdata, preparera mätprober, eller liknande.

Någon statistik över antalet personal som fanns i lokalerna vid olika tidpunkter fördes inte. Personalen rörelser i lokalerna bedömdes dock som representativa för verksamheten.



Figur 9; Mätuppställning i finomklädningsrum.



Figur 10; Mätuppställning i torkrum.

Brandövningar

Mätningarna av partiklar i samband med genomförande av övningar genomfördes genom att viss mätutrustning bars på kroppen av instruktörer, se figur 11.

Instruktören uppehöll sig i närområdet av övningsanordningen i ett rörelsemönster som var representativt för övningstillfället.

Mätningar är gjorda i andningszonen genom att provtagningsmedia placeras på instruktörens axlar. CO mättes i brösthöjd av praktiska skäl, se figur 11.

Provtagningsvolymen bestämdes genom flödesmätning med kalibrerad flödesmätare vid provtagningsstart och vid periodens slut.



Figur 11; Instruktor i arbete, med kroppsburen mätutrustning, till vänster inne i övningsanordning i samband med initiering av övning och till höger utanför övningsanordning under övningens genomförande..

Mätutrustning

Instruktören utrustades med bärbar utrustning för provtagning av såväl partiklar som gaser (flyktiga organiska ämnen (VOC), aldehyder samt polyaromatiska kolväten (PAH)). Dessutom bar instruktören direktvisande instrument för kolmonoxid. Se tabell 4 för redovisning av mätutrustning och provtagare.

På ett portabelt stativ monterades även pumpar och provtagare för $PM_{2,5}$ samt PM_{10} samt DataRAM pDR-1000AN (mätning av partiklar).

Tabell 4 visare en översikt över den utrustning som användes vid mätningar och provtagningar.

Tabell 4; översikt över mätutrustning

Utrustning	Beskrivning	Storhet
P-trak® 8525 UPC	Handburen partikelräknare för små partiklar (UPC; Ultrafine Particle Counter) som detekterar och räknar partiklar med aerodynamisk diameter i storleksintervallet 0,02 – 1 µm i koncentrationsområdet 0 – 500 000 partiklar/cm ³ . Mätprincipen bygger på att luftprovet sugas in och passerar en porös massa innehållande isopropanol. Alkoholerna kondenserar på partikeln varvid små droppar bildas. Luftströmmen med partiklarna passerar därefter genom en laserstråle och en fotodetektor registrerar ljusspridningen som är ett mått på antalet partiklar. Om partiklarna inte har ökat tillräckligt i storlek kommer de inte att räknas.	Antal partiklar/cm ³
AeroTrak™ 9000 NAM	Portabel partikelräknare för små partiklar (NAM; Nanoparticle Aerosol Monitor). Mäter ytan av partiklar. Två olika inställningar kan göras, vilket motsvarar de partiklar som deponeras tracheobronchialt (TB) eller alveolärt (A)	µm ² /cm ³
Ci-500	Bärbar partikelräknare för luft med känsligheten 0,3 µm. Mäter antalet partiklar i sex storleksklasser, 0,3-0,5 µm, 0,5-1 µm, 1-5 µm, 5-10 µm, 10-25 µm och >25 µm. Mätningen bygger på att luft kontinuerligt sugas in i en kammare, där ljusspridningen är ett mått på antalet partiklar, uppdelat i storleksklasser.	Antal partiklar/m ³
DataRAM pDR-1000AN	Mäter massan av partiklar via ljusspridning vid våglängden 880 nm, i storleksintervallet 0,1 – 10 µm och koncentrationsområdet 0,001 - 400 mg/m ³ . Luftprovet kommer in i mätcellen via diffusion.	mg/m ³
Dräger PacIII	Direktvisande gasmätningssystem med elektrokemisk mätcell för mätning av kolmonoxid, loggar mätvärden var 10:e sekund. Provlufte diffunderar in i cellen och via en kemisk reaktion bildas elektroner som är proportionell mot koncentrationen kolmonoxid, mätområdet är 0-500 ppm.	ppm
Nortec PM3 LS	Direktvisande instrument för beröringsfri mätning av ytemperatur, med lasersikte.	°C
Tenax-adsorbent	För anrikning av VOC-ämnen	mg/m ³
DNF-ampull med SEP-PAK wafers	För kemisk anrikning av lätta aldehyder (t.ex. formaldehyd)	mg/m ³
OVS-provtagare med XAD-2	OSHA Versatile Sampler, provtagare med kombination av filter (glasfiber) och adsorbent (XAD-2) för PAH-ämnen	mg/m ³
Q-RAE Plus	Direktvisande instrument försett med elektrokemisk cell för CO	ppm
Raytek PM3LS	Beröringsfri temperaturmätare (IR)	°C
Övrigt	Gravimetrisk bestämning av partiklar med provtagare för PM _{2,5} och PM ₁₀ , pump Chempass™, provtagning med märkflödet 4 lit/min. Provtagning på 37 mm 0,8 µm cellulosaacetat filter från Millipore. Luftpump, 4l/min.	

Analysmetoder

Prover från provtagare för polyaromatiska kolväten (PAH) extraherades med diklormetan och analyserades på ett GSMS-system för kvantifiering av cirka 17 olika PAH-ämnen.

Kolmonoxid (CO) mättes med direktvisande instrument (Q-RAE Plus från RAE Systems) försett med elektrokemisk cell för CO. Mätsignalen loggades i instrumentet och resultatet redovisas som medelhalt och topphalt under respektive mätperiod.

Provtagare för aldehyder analyserades med HPLC (High Pressure Liquid Chromatography) samt LCMS (Liquid Chromatography Mass Spectrometry). LCMS utnyttjades också för att kunna söka akrolein i proverna.

Glasdunrör och Tenax-adsorbenter för flyktiga organiska ämnen (VOC) desorberades termiskt och analyserades enligt SP-metod 601. Denna metod innebär gaskromatografisk analys med flamjonisationsdetektor och masselektiv detektor, förkortas normalt som TD-GC-FID/MS.

Halter beräknades från FID-signalen och den aktuella provtagningsvolymen. Totalhalten VOC (TVOC) omfattar främst ämnen i kokpunktsintervallet 70 - 320 °C. Detta motsvarar för kolväten ämnena hexan till oktadekan, C₆-C₁₈. Enskilda ämnen identifierades med masspektrometer.

Mätningar av partiklar skedde med direktvisande, kontinuerligt loggande instrument eller på filter som vägdes efter mätningar.

För ytterligare detaljer, se Rosell (2008) samt Andersson & Kling (2009).

Personlig skyddsutrustning

Utöver mätning av den direkt inandade miljön i samband med övningar samt i omklädningsrum/torkrum, undersöktes även den personliga skyddsutrustningen som används i samband med övningar. Syftet var att kvantifiera och bedöma inverkan av på den personliga skyddsutrustningen deponerade partiklar och kondenserade gaser. Använd och oanvänd utrustning samlades in och analyserades. Den insamlade och undersökta utrustningen framgår av tabell 5.

Den insamlade utrustningen utsattes för brandövningar i en omfattning som bedömdes som representativ för verksamheten. Detta innebär att ytterplagg hade använts under cirka 5 arbetsdagar och underställ under cirka 2 dagar, i rökfylld och varm miljö som kan anses representativ för verksamheten. Observera att tvättning, torkning eller eventuellt byte av utrustningen normalt sker efter instruktörens eget godtycke (när det är ”lagom” att byta). Instruktioner för detta saknas förutom den ”allmänna” riktlinjen att instruktörer ska vara ett föredöme för kursdeltagare och övriga besökare.

Tabell 5; Insamlad personlig skyddsutrustning

	tvättat	otvättat
Ny	Ytterplagg, byxa Underställ, byxa Handske	Ytterplagg, jacka Underställ, tröja Handske Huva
Använd	Ytterplagg, byxa Underställ, byxa Handske	Ytterplagg, Jacka Underställ, tröja Handske Huva

Utrustningen packades i individuella plastsäckar och skickades under vecka 826 från Räddningsverkets skola i Revinge för analys vid Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB (SP).

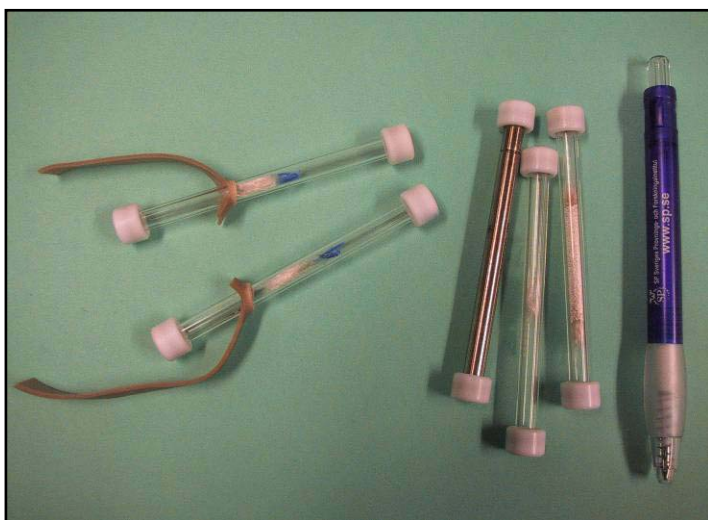
Analysmetoder

Analys av föreningar/organiska ämnen som fanns i eller som misstänktes ha fastnat på textilier undersöktes med termisk extraktion/gaskromatografi.

Analysmetoden består av två delar:

- 1) termisk extraktion
med hjälp av uppvärmning frigörs organiska ämnena från materialet (i det här fallet klädesplaggen, enligt tabell 5)
- 2) gaskromatografi (GC)
genom gaskromatografi separeras individuella kemiska ämnen från den blandning av gaser som erhålls genom termisk extraktion, vilka identifieras med en masselektiv (MS) detektor och kvantifieras med en flamjonisationsdetektor (FID).

Proverna togs från de delar av originalplagget där mest kontaminering kan förväntas ha skett, dvs. från armar på jackor och knäna på byxor från ytterkläder och från armar från underställ. Bitarna av ungefär $\frac{1}{2}$ cm² med vikt ungefär 10 mg vägdes in och placerades i tomma glasrör, med mått 89×6×4 mm (längd×ytterdiameter×innerdiameter), för termisk extraktion. Figur 12 visar exempel på adsorbentrör, stålrör och glasrör (penna för uppfattning av storleken).



Figur 12; Adsorbentrör för termisk extraktion. I rören till vänster syns även provbitar (blått) (Langer, 2008).

Termisk extraktion utfördes genom att proverna upphettades till 100°C, 200°C, 300°C och 400°C (ytterkläder), respektive till 100°C och 200°C (underställ) under 5 minuter i ett flöde av helium.

De frigjorda ämnena samlades på en kapillär kylfälla från vilken blandningen injicerades i gaskromatograf (GC). Ugnen för GC programmerades enligt: starttemperatur 35°C för 2 minuter, 4°C/minut till 150°C, 6°C/minut till 300°C och hölls därefter konstant under ytterligare 13 minuter.

Kvantitativa resultat beräknades från signalen från flamjonisationsdetektor (FID). Flamjonisationsdetektor kalibrerades med hjälp av toluen och resultat är uttryckta som toluenekvivalenter. Masspektroskopi (MS) användes i så kallad scan-mode mellan 29 – 450 amu (atomic mass units). Ämnena identifierades med hjälp av deras masspektra som jämfördes ett med MS-bibliotek (NIST database 98L).

De kemiska ämnen som överhuvudtaget är analyserbara med denna teknik är de som kan frigöras termiskt under en aktuell temperatur och som är kromatograferbara med GC. Detta innebär kolväten från n-hexan (C₆) till oktakosan (C₂₈) samt olika syre-, halogen- eller kvävesubstituerade kolväten (från aceton till ftalater).

Ämnen som kunde identifieras med säkerhet, dvs. med en MS-överenskommelse >80 %, kvantifierades som toluenekvivalenter och grupperades enligt deras kemiska strukturer/tillhörigheter. Flera av de påvisade fluorerade ämnena kunde inte identifieras med bra säkerhet och därför refererades de som "halogenated compound". I redovisade tabeller och diagram används engelska namn på ämnena. Enheten för de kvantitativa resultaten är mikrogram av ett ämne per gram av tygprovet, µg/g, dvs. ppm (10⁻⁶ per viktenhet).

För ytterligare detaljer, se Langer (2008).

Blodprover

I samband med övningar togs även blodprov från fem instruktörer som helt eller delvis var involverade i de vid provtillfället för gas och partiklar genomförda övningarna. Syftet med proverna var att undersöka upptaget av kolmonoxid i blodet. Prover drogs under tidig förmiddag samt sen eftermiddag för omgående transport och analys vid kliniskt kemilaboratorium vid Universitetssjukhuset MAS.

5. Resultat

Partiklar

Omklädningsrum/torkrum

Resultatet från mätningar i omklädningsrum/torkrum sträckte sig över en relativ lång tidsperiod, både dag och natt. Resultaten redovisas i tabell 6 – 10 samt i sin helhet i bilagorna 1 – 4 (grovomklädningsrum), bilagorna 5 – 8 (finomklädningsrum) samt bilagorna 9 – 12 (torkrum).

Tabell 6; Sammanställning av mätningar av partiklar i grovomklädningsrum, 16 juni klockan 16.00 – 17 juni klockan 15.30 (Andersson & Kling, 2008)

Instrument	Fraktion	Medel	Median	Min	Max	Sort
Ci-500	0,3 – 0,5 µm	2 069 332	1 751 230	1 142 310	4 661 010	partiklar/m ³
	0,5 – 1,0 µm	515 441	401 010	139 790	2 395 810	partiklar/m ³
	1 – 5 µm	120 601	69 540	13 060	1 177 610	partiklar/m ³
	5 – 10 µm	8 477	2 470	248	150 030	partiklar/m ³
	10 – 25 µm	2 247	350	248	36 360	partiklar/m ³
	>25 µm	300	248	248	2 820	partiklar/m ³
DataRAM		0,008	0,007	0,004	1,0	mg/m ³
P-Trak		2 852	2 842	1 470	7 374	partiklar/cm ³
AeroTrak	A	4,2	4,3	2	8,6	µm ² /cm ³
	TB	2	2	1	5,1	µm ² /cm ³
Gravimetrisk	PM _{2,5}	0,012				mg/m ³
	PM ₁₀	0,004				mg/m ³

Tabell 7; Sammanställning av mätningar av partiklar i finomklädningsrum, 18 juni klockan 11.30 – 19 juni klockan 08.20 (Andersson & Kling, 2008)

Instrument	Fraktion	Medel	Median	Min	Max	Sort
Ci-500	0,3 – 0,5 µm	12 170 321	12 170 730	4 744 150	21 222 710	partiklar/m ³
	0,5 – 1,0 µm	603 638	590 920	421 310	2 228 490	partiklar/m ³
	1 – 5 µm	58 821	34 770	22 420	527 910	partiklar/m ³
	5 – 10 µm	3 338	530	180	47 660	partiklar/m ³
	10 – 25 µm	1 463	180	1 180	28 950	partiklar/m ³
	>25 µm	202	180	180	1 240	partiklar/m ³
DataRAM		0,011	0,01	0,003	0,65	mg/m ³
P-Trak		3 460	3 370	2 186	4 606	partiklar/cm ³
AeroTrak	A	7,5	7,5	4,1	11,2	µm ² /cm ³
	TB	4,2	4,3	2,5	5,8	µm ² /cm ³
Gravimetrisk	PM _{2,5}	0,008				mg/m ³
	PM ₁₀	0,002				mg/m ³

Tabell 8; Sammanställning av mätningar partiklar i torkrum, 17 juni klockan 16.10 – 18 juni klockan 11.05 (Andersson & Kling, 2008)

Instrument	Fraktion	Medel	Median	Min	Max	Sort
Ci-500	0,3 – 0,5 µm	3 125 016	2 357 510	1 481 190	8 933 020	partiklar/m ³
	0,5 – 1,0 µm	384 004	318 760	178 970	1 975 390	partiklar/m ³
	1 – 5 µm	62 519	27 890	12 710	926 270	partiklar/m ³
	5 – 10 µm	4 328	710	180	111 200	partiklar/m ³
	10 – 25 µm	1 191	180	180	22 950	partiklar/m ³
	>25 µm	211	180	180	1 940	partiklar/m ³
DataRAM		0,009	0,008	0,003	0,31	mg/m ³
P-Trak		2 663	2 558	1 826	5 446	partiklar/cm ³
AeroTrak	A	4,4	4,8	0,9	9,4	µm ² /cm ³
	TB	2,3	2,4	1,2	24,5	µm ² /cm ³
Gravimetrisk	PM _{2,5}	0,007				mg/m ³
	PM ₁₀	0,017				mg/m ³

Under eftermiddagen/kvällen 17 juni 2008 genomfördes en bakgrundsmätning utomhus samt en bakgrundsmätning inomhus i anslutning till boendedelen (uppehållsrum) vid Räddningsverkets skola i Revinge. Mätningarna omfattade i huvudsak nanopartiklar med instrument P-Trak.

Tabell 9; Bakgrundsmätning av partiklar med P-Trak, utomhus och inomhus under eftermiddagen/kvällen 17 juni 2008 (Andersson & Kling, 2008)

Plats	Tid	Medel	Median	Max	Sort
Utomhus	15.17 – 16.08	7 928	8 506	10 360	partiklar/cm ³
	20.30 – 20.49	5 848	5 818	7 058	partiklar/cm ³
Inomhus TV-rummet	20.50 – 21.45	3 870	3 794	5 242	partiklar/cm ³

Brandövningar

Mätningar av partiklar i samband med brandövningar redovisas i tabell 10 samt i bilagorna 13 – 18.

Tabell 10; Sammanställning av mätning av partiklar vid brandövningar, 17 och 18 juni (Andersson & Kling, 2008)

Plats	Instrument	Medel	Median	Max	Sort
Gröna huset (figur 3)	Dräger PacIII kolmonoxid	5	4	25	ppm
	DataRAM	3	0,6	82	mg/m ³
	P-Trak	72 717	35 540	485 600	partiklar/cm ³
Brandövningshuset (figur 4)	Dräger PacIII kolmonoxid	1,2		6	ppm
	DataRAM	1	0,6	19	mg/m ³
	P-Trak	32 160	20 184	241 600	partiklar/cm ³
Radhuset Övning 1 (figur 5)	Dräger PacIII kolmonoxid	0,9		5	ppm
	DataRAM	1	0,3	14	mg/m ³
	P-Trak	27 281	21 940	119 800	partiklar/cm ³
Radhuset Övning 2 (figur 5)	Dräger PacIII kolmonoxid	0,3		4	ppm
	DataRAM	0,7	0,2	19	mg/m ³
	P-Trak	39 624	18 160	47 300	partiklar/cm ³
Strålförarcontainer (figur 6)	Dräger PacIII kolmonoxid	1		34	ppm
	DataRAM				mg/m ³
	P-Trak	113 843	28 045	50 000	partiklar/cm ³
Samtliga övningar	PM _{2,5}	0,64			mg/m ³
Samtliga övningar	PM ₁₀	0,75			mg/m ³

För ytterligare detaljer, se Andersson & Kling (2008).

Gaser

I det följande redovisas resultat för respektive parameter, dvs. ämne eller ämnesgrupp, med kommentarer.

I tabell 11 ses de några av de mest dominerande organiska ämnen i proverna.

Tabell 11; Halterna av några VOC-ämnen i mätningarna (Rosell, 2008)

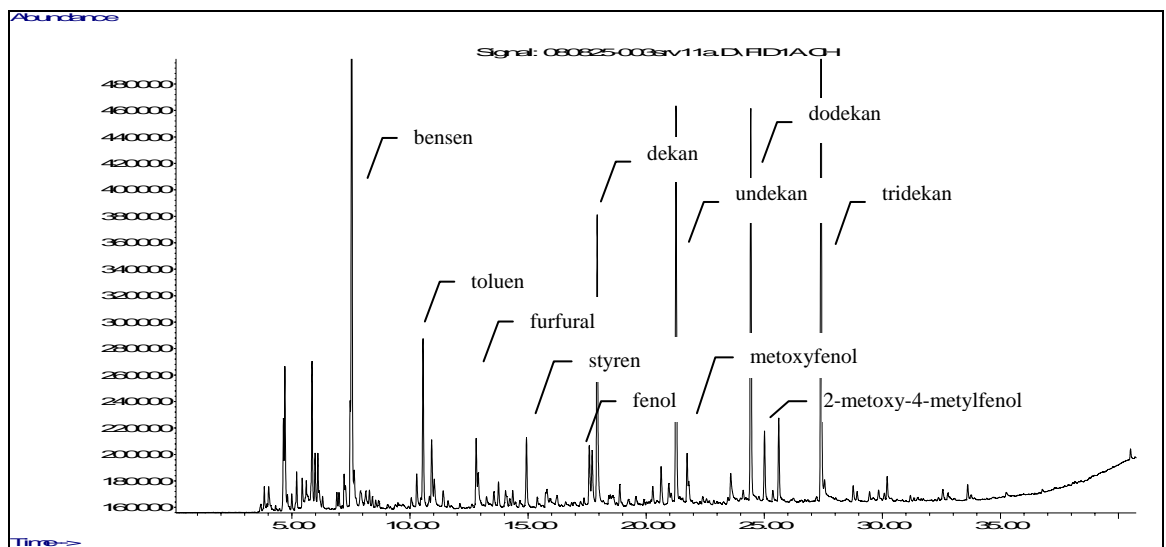
Nr	Plats/ Scenario	Bensen [mg/m ³]	Toluen [mg/m ³]	2-metoxi- fenol [mg/m ³]	2-metoxi- 4-metyl- fenol [mg/m ³]	Summa alifatiska kolväten C10-C14 [mg/m ³]
1	Gröna huset	0,12	0,03	0,02	0,03	0,3
2	BÖ/Flygolycka	0,14	0,03	-	0,06	0,1
3	Radhusbrand	0,06	0,01	-	-	0,2
4	Torkrum	<0,01	<0,01	-	-	0,1
5	Gasolbrand	0,2	-	-	-	-
	NGV (KTV/TGV)	1,5 (9)	200 (400)	-	-	350 (500)

Utöver dessa ämnen ses också små mängder av bland annat:

- furfural
- 2-metylfuran
- 2-hydroxybensaldehyd
- styren, samt
- fenol.

Även ättiksyra syns i proverna, vilket är en sönderfallsprodukt från förbränningen.

I mätning nr 3, vid Radhuset, ses också tydlig närvaro av propylenglykol, dvs kallrök (motsvarande teaterök).



Figur 12; Exempel på VOC-ämnen återfunna i gaskromatogram, (från mätning 1 vid Gröna huset) (Rosell, 2008)

Av de tre eftersökta aldehyderna återfanns bara formaldehyd och acetaldehyd över aktuella detektionsgränser, se tabell 12.

Tabell 12; Halter av aldehyder i mätningarna (Rosell, 2008)

Nr	Plats/ Scenario	Formaldehyd [mg/m ³]	Acetaldehyd [mg/m ³]	Akrolein [mg/m ³]
1	Gröna huset	0,24	0,14	<0,002
2	BÖ/Flygolycka	0,08	0,05	<0,002
3	Radhusbrand	0,06	0,04	<0,001
4	Torkrum	0,01	0,01	<0,001
5	Gasolbrand	0,01	0,02	<0,002
	NGV	0,6	45	0,2
	(KTV/TGV)	(1,2)	(90)	(0,7)

Vad gäller aldehyder är det formaldehyd som vid Gröna huset når 40% av arbetsmiljögränsvärdet för heldagsexponering. För bostäder nyttjas ett WHO-riktvärde på 100 µg/m³ medan Gröna huset gav 240 µg/m³. Övriga

formaldehydvärden är klart lägre. Formaldehyd räknas numera till gruppen cancerogena ämnen.

I tabell 13 anges totalmängden PAH, halten naftalen, acenaftylen samt benso(a)pyren.

Tabell 13; Halter av några PAH-ämnen i mätningarna (OBS halterna här i $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Rosell, 2008)

Nr	Plats/ Scenario	Summa 17 PAH [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	vara naftalen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	varav acenaftylen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	varav benso(a)pyren [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	Gröna huset	34	21	3,7	0,3
2	BÖ/Flygolycka	37	23	4,9	0,4
3	Radhusbrand	14	9	1,6	0,1
4	Torkrum	0,8	0,4	0,1	-
5	Gasolbrand	17	7	7,4	0,3
	NGV (KTV/TGV)	Saknas	50 000 (80 000)	Saknas	2 (20)

Koloxid mättes med direktvisande instrument och i tabell 14 redovisas medelvärden av respektive mätperiod och toppvärde.

Tabell 14. Uppmätta halter av koloxid med direktvisande instrument (Rosell, 2008)

Nr	Plats/ Scenario	Mätlängd [min]	Medelvärde [ppm]	Toppvärde [ppm]
1	Gröna huset	30	14	179
2	BÖ/Flygolycka	15	15	109
3	Radhusbrand, del 1	47	4	84
3	Radhusbrand, del 2	35	0	4
4	Torkrum	47	4	174
5	Gasolbrand i container	35	3	23
	NGV (KTV/TGV)		35 (100)	

För ytterligare detaljer, se Rosell (2008).

Personlig skyddsutrustning

De undersökta textilierna bestod av ytterkläder och underställ från övningar vid Räddningsverkets skola i Revinge. Textilierna som analyserades var av fyra olika slag:

- ny otvättad
- ny tvättad
- använd otvättad
- använd tvättad

Samtliga resultat från analysen med FID visas i bilaga 19, A – X. De lägre temperaturerna 100°C och 200°C användes både för ytter- som underkläder. Dessa temperaturer motsvarar de faktiska förhållandena under en övning som involverar brandsläckning. Temperaturer 300°C och 400°C användes för att få en så komplett bild som möjlig av de ämnena som eventuellt kan finnas i/på aktuella textilier.

Resultat från yttertextilier

Tabell 15 – 18 nedan visar halter olika ämnesgrupper i de individuella proverna vid uppvärmning till de fyra temperaturerna. Se även bilagorna 20 – 23.

Tabell 15; Resultat fördelat på ämnesgrupper, för prov ”ytterkläder – ny otvättad”. Halterna är uttryckta som toluenekvivalenter i µg/g (Langer, 2008)

Nytt otvättat ytterplagg	100°C TE, [µg/g]	200°C TE, [µg/g]	300°C TE, [µg/g]	400°C TE, [µg/g]
Halogenated	30	47	1330	3700
Acetamides	2	17	900	2700
Hydrocarbons	2	14	140	270
Glycol ethers	5	21	170	370
Glycols	0	0	90	170
Phenols	0	4	10	0
Aldehydes	2	2	60	260
Alcohols	6	17	90	150
PAH	0	0	0	0
Phthalates	4	25	14	30
Organic acids	1	27	40	70
Others	23	28	250	200
Summa	80	200	3100	8000

Tabell 16; Resultat fördelat på ämnesgrupper, för prov ”ytterkläder – ny tvättad. Halterna är uttryckta som toluenekvivalenter i µg/g (Langer, 2008)

Nytt tvättat ytterplagg	100°C TE, [µg/g]	200°C TE, [µg/g]	300°C TE, [µg/g]	400°C TE, [µg/g]
Halogenated	58	208	920	2500
Acetamides	1	5	370	1900
Hydrocarbons	0	116	150	230
Glycol ethers	0	0	120	270
Glycols	0	0	45	77
Phenols	39	50	27	14
Aldehydes	1	20	100	250
Alcohols	26	34	230	300
PAH	0	0	1	7
Phthalates	51	59	55	73
Organic acids	0	158	220	190
Others	9	19	180	130
Summa	190	670	2400	5900

Tabell 17; Resultat fördelat på ämnesgrupper, för prov ”ytterkläder – använd otvättad. Halterna är uttryckta som toluenekvivalenter i µg/g (Langer, 2008)

Använd otvättat ytterplagg	100°C TE, [µg/g]	200°C TE, [µg/g]	300°C TE, [µg/g]	400°C TE, [µg/g]
Halogenated	38	130	620	1500
Acetamides	0	6	430	2200
Hydrocarbons	130	500	1100	1200
Glycol ethers	0	5	12	84
Glycols	0	71	210	180
Phenols	4	24	240	510
Aldehydes	14	32	58	170
Alcohols	61	390	960	2000
PAH	26	110	220	210
Phthalates	19	310	600	160
Organic acids	51	750	1300	910
Others	1	9	55	110
Summa	340	230	5800	9200

Tabell 18. Resultat fördelat på ämnesgrupper, för prov ”ytterkläder – använd tvättad. Halterna är uttryckta som toluenekvivalenter i µg/g (Langer, 2008)

Använd tvättat ytterplagg	100°C	200°C	300°C	400°C
	TE, [µg/g]	TE, [µg/g]	TE, [µg/g]	TE, [µg/g]
Halogenated	19	86	320	520
Acetamides	4	12	570	2100
Hydrocarbons	27	220	300	600
Glycol ethers	0	4	70	180
Glycols	0	13	180	270
Phenols	0	32	390	580
Aldehydes	3	63	64	62
Alcohols	68	370	590	1000
PAH	0	9	10	8
Phthalates	6	490	30	300
Organic acids	29	910	790	920
Others	14	4	15	39
Summa	170	2200	3700	6700

Resultat från underställ

Proverna från underställ värmdes till temperaturerna 100°C och 200°C. Tabell 19 – 20 visar halter av olika ämnesgrupper i de individuella proverna vid uppvärmning till de två temperaturerna. Se även bilagorna 24 – 27.

Tabell 19; Resultat fördelat på ämnesgrupper, för prov ”underställ– ny otvättad och ny tvättad”. Halterna är uttryckta som toluenekvivalenter i µg/g (Langer, 2008)

Underställ	Ny, otvättad		Ny, tvättad	
	100°C TE, [µg/g]	200°C TE, [µg/g]	100°C TE, [µg/g]	200°C TE, [µg/g]
Alkanes	170	12	200	1300
Alkylbenzenes	35	74	17	86
Organic acids	0	40	0	42
Aldehydes/alcohols	30	90	3	70
Chlorinated	0	0	0	0
Esters	47	290	30	310
Pthalates	12	37	7	44
Acrylic	0	0	0	0
Unknowns	0	40	0	30
Other/special	0	0	0	0
Summa	300	1700	260	1900

Tabell 20; Resultat fördelat på ämnesgrupper, för prov "underställ- använd otvättad och använd tvättad". Halterna är uttryckta som toluenekvivalenter i µg/g (Langer, 2008)

Underställ	Använd, otvättad		Använd, tvättad	
	100°C TE, [µg/g]	200°C TE, [µg/g]	100°C TE, [µg/g]	200°C TE, [µg/g]
Alkanes	8	51	73	140
Alkylbenzenes	0	0	0	0
Organic acids	0	78	2	150
Aldehydes/alcohols	0	67	0	77
Chlorinated	0	2	0	4
Esters	0	0	0	0
Pthalates	4	27	0	23
Acrylic	0	16	0	16
Unknowns	0	85	0	66
Other/special	0	29	5	30
Summa	12	350	80	500

Det bör påpekas att mängder ämnen i prover anges i toluenekvivalenter. Olika ämnestyper har dock olika respons på FID. Speciellt halogenerade ämnen ger svag signal relativt toluen. Detta innebär att verklig halt halogenerat innehåll är avsevärt större än vad redovisningen ovan visar.

För ytterligare detaljer, se Langer (2008).

Blodprover

I samband med mätningar av utomhusmiljö, togs även blodprover från fem instruktörer som helt eller delvis var involverade i de vid provtillfället för gas och partiklar genomförda övningarna. Syftet med provtagningen var att undersöka kolmonoxidhalten i blodet (COHb) och eventuellt relatera detta till mätningarna av gaser i samband med övningar. Resultaten från dessa mätningar redovisas i tabell 21.

Tabell 21; Resultat från blodprover, COHb

individ	resultat	
	morgon	kväll
1	0,9%	1,1%
2	0,6%	1,0%
3	0,6%	1,1%
4	0,9%	0,8%
5	0,7%	0,9%
medel	0,74%	0,98%

Dessa resultat uppvisar en genomsnittlig ökning med cirka 32% av COHb från morgon till kväll.

6. Diskussion

Allmänt

Som underlag för mätningarna har för övningsverksamheten representativa situationer använts. Man bör då ha i åtanke att det är en lång rad parametrar som påverkar arbetsmiljön i anslutning till övningar, inte minst väderförhållandena såsom vindstyrka, temperatur och luftfuktighet och hur personal m.fl. rör sig i förhållande till övningsanordningar. Detta medför att resultat från mätningar som redovisas i denna rapport primärt endast är giltiga för de vid mättillfället aktuella förhållandena. Vid andra förhållanden kan mängden partiklar och halten av gaser vara såväl högre som lägre i andningszonen. Även mängder och halter som tas upp av den personliga skyddsutrustningen kan därmed variera. För en fullständig analys av arbetsmiljön för instruktörer med avseende partiklar och gaser hade det krävts mätningar under längre tid, vid andra årstider, mm.

Vid normala övningsituationer är det ofta två eller fler instruktörer som samarbetar. En av dessa instruktörer kan då befinna sig inne i övningsanordningen tillsammans med kursdeltagare. Instruktörer inne i övningsanordningar har normalt fullständig personlig skyddsutrustning, bestående innerplagg, ytterplagg, handskar, stövlar/kängor, hjälm samt andningsapparat. Den eller de instruktörer som befinner sig utanför övningsanordningen är normalt inte utrustade med andningsapparat, vilket då så gott som alltid medför någon form av exponering för de partiklar och gaser som bildas i anslutning till övningen.

Den personliga skyddsutrustning som finns tillgänglig i samband med övningsverksamheten är i princip begränsad till två nivåer, i förhållande till gaser och partiklar. Antingen är skyddet fullständigt, dvs. andningsvägar är helt skyddade av andningsapparat och helmask. Eller så är skyddet i princip noll, dvs. varken andningsapparat, filtermask eller liknande används. Dock används normalt motsvarande kläder i båda fallen (ytterplagg och underställ). Det torde således vara rimligt att det finns flera nivåer på skyddet tillgängligt, för såväl instruktörer som servicepersonal. Dessa nivåer bör då på olika sätt vara anpassade till behovet i olika typer av situationer, från förberedelser till övningar, återställning och hantering av personlig skyddsutrustning efter övningar. Samtidigt finns det en fara i att införa en alltför komplex arbetssituation, med risk att inget skydd alls används eller att det används på fel sätt.

Vid de aktuella försöken medverkade en instruktör med bärbar mätutrustning (för gaser och partiklar). Instruktören befann sig utanför övningsanordningen, med undantag för de kortare stunder som krävdes för genomförandet av övningen. Instruktören stod i eller förflyttade sig i röken från övningsanordningen på ett sätt som återspeglar en normal arbetssituation. Instruktören försöker dock normalt undvika röken i den utsträckning detta är möjligt, så även vid mättillfället. Eftersom inandning av brandgaser normalt är "självmarkerande" i form av hosta eller sveda i

ögonen, kan det då utvecklas ett beteende där instruktören helt enkelt håller andan eller blundar de stunder exponeringen för brandgaser är eller befaras vara hög. Tyvärr kan detta beteende leda till oönskad exponering, eftersom det dels inte går att hålla andan hur länge som helst och dels är visuella intryck ganska väsentliga för arbetet.

Instruktörens rörelsemönster utanför övningsanordningen kan därför komma att påverka andningsmiljön, såväl i positiv riktning som i negativ. För en fullständig analys av arbetsmiljön för instruktörer med avseende partiklar och gaser hade det krävts mätningar under längre tid, i anslutning till andra övningsanordningen, mm.

Sammanfattningsvis bör dock de funna resultaten vara representativa för verksamheten. Av erfarenhet kan hävdas att exponeringen varken var onormalt lång eller onormalt hög.

Mätning av partiklar

De mätningar av partiklar som utfördes omfattade vägning av partiklar, antalet partiklar i olika storleksfraktioner samt mätning av partikelyta. Mätningarna omfattade således inte den kemiska sammansättningen av partiklarna.

Mätningar av damm och partiklar i inomhusmiljö är mycket svår och komplex. Det kan vara många faktorer som påverkar nivåerna. Baserat på de förutsättningar som rådde under mätningarna får dessa anses vara representativa och speglade damm och partikelhalterna i såväl omklädningsrum som övningsanordningar.

Mätningar av partiklar med Ci500 visar, för den minsta fraktionen 0,3 – 0,5 μm , att koncentrationen av partiklar ökade över mätperioden. En tänkbar förklaring kan vara att det under måndag eftermiddagen kom ett kraftigt regn. Därefter var det torrt och vackert väder, periodvis blåsigt, resterande mätperioden. Det är tänkbart att de fina partiklarna har tvättats ur luften i samband med regnet för att därefter öka i antal.

För de två andra fraktionerna, 0,5 – 1 μm samt 1 – 5 μm , ser vi resultat som kan förknippas med att personer uppehöll sig i lokalerna, dvs. på morgonen, i samband med lunch samt sent på eftermiddagen.

Storleksfraktionerna 5 – 10 μm och 10 – 25 μm ökar ännu tydligare under tider då personal har befunnit sig i lokalerna.

Vid jämförelse mellan eftermiddagen, kl 16.00 – 18.00 och morgon, kl 7.30 – 9.00 i grova omklädningsrummet kan observeras högre värden av partiklar på morgonen jämfört med eftermiddagen. En tänkbar förklaring kan vara att kläderna har torkat under natten och när personalen tar ut kläderna på morgonen skakar de av partiklar ut i rummet.

Mätningarna i torkrummet visar utslag i de högre storleksfraktionerna i samband med morgonen och eftermiddagen. Diagrammen visar mindre toppar omkring kl. 20.00 och 21.00. Under kvällen pågick även andra provtagningar i torkrummet och vi själva uppehöll oss vissa tider i torkrummet vilket eventuellt kan förklara utslagen.

Vid den avslutande mätningen i herrarnas finomklädningsrum registrerades en del toppar under dagtid. Utslaget omkring kl. 20 kommer troligen från den aktivitet som gjordes av oss själva när vi tömde data från partikelräknaren.

I jämförelse mellan mätområde för Ci500 (0,3 - >25 μm) och för P-Trak (0,02 - 1 μm) så mäter P-Trak mindre partiklar och det är en viss överlappning mellan instrumenten i den lägre fraktionen. Inför varje mätning mättades en porös patron med isopropanol. Under normala temperaturbetingelser kan man därefter mäta i upp till 8 timmar. Om patronen torkar ut får man felaktiga mätvärden (låga värden) som i den aktuella mätningen har tagits bort vid beräkningarna. Vi fick två sådana perioder i torkrummet respektive finomklädningsrummet.

För den gravimetriska bestämningen av damm, $\text{PM}_{2,5}$ och PM_{10} , användes endast ett filter för respektive fraktion under samtliga fem brandövningar. Anledningen till detta var för att komma över kvantifieringsgränsen vid filtervägningen. Eftersom det inte visades vara någon större skillnad mellan de båda fraktionerna är slutsatsen att det främst var mindre partiklar i röken dvs. $\text{PM}_{2,5}$.

Mätning av gaser

Först och främst bör man ha i åtanke att bara för att ett ämne saknar gränsvärden behöver detta inte innebära att det är ofarligt. Anledningen till att gränsvärde saknas kan vara att ämnet inte hanteras industriellt i någon större omfattning.

De mest dominerande organiska ämnen i proverna är företrädesvis aromatiska kolväten såsom bensen och toluen, oxiderade fenoler såsom 2-metoxifenol (en av många synonymer är guaiacol) och 2-metoxy-4-metylfenol (en av många synonymer är kreosol), samt en serie raka alifatiska kolväten i området dekan till tridekan. De sistnämnda har genom analys kunnat hänföras till den aktuella tändvätskan som används för att starta upp övningsbränderna ("Biokleen").

Bensen, toluen och styren är vanliga nedbrytningsprodukter vid förbränningsprocesser som inte är helt fullständiga. De fenoliska ämnena fenol, 2-metoxy-fenol och 2-metoxy-4-metylfenol är pyrolysisprodukter från trä. Även furfural (2-metylfuran) kan anses tillhöra dessa träprodukter, liksom levoglukosan som sågs i proverna från mätning 1 vid Gröna Huset.

Bensen når ca 10 % av nivågränsvärdet vid flera övningar. För andra ämnen i denna grupp är antingen halterna relativt mycket lägre eller så saknas gränsvärde. I torkrummet ses mätbar förekomst av kolväten från tändvätska. Dieselförekomst under försök 2, BÖ/flygolycka, är knappt synlig, tändvätskan syns mer.

Den i proverna identifierade propylenglykolen kan spåras till en vid tillfället utnyttjad rökmaskin. Propylenglykol används kommersiellt för att alstra rök, bland annat i teatersammanhang. Halten i luft i andningszonen beräknades här till $0,2 \text{ mg/m}^3$ som medelvärde över mätperioden. Ämnet saknar gränsvärde, eftersom det anses helt ofarligt vid den här typen av användning. Ämnet får även nyttjas som livsmedelstillsats. Bland de 18 PAH-ämnen som eftersöktes dominerade naftalen kraftigt, mellan 43 och 66 % av totalmängden PAH. Benso(a)pyren räknas till de farligaste PAH-ämnena och tjänar som indikatorämne för övriga tyngre PAH.

Uppmätta värden pekar på upp till 15-20 % av nivågränsvärdet i alla scenarier utom vid Radhuset där halten är lägre. Summahalter av PAH-ämnen förefaller genomgående lågt. Men det är mätbart även i gasolbrand, trots det rena bränslet.

Koloxidhalterna når ca 40% av nivågränsvärdet i Gröna huset och BÖ/flygolycka. Jämfört med korttidsgränsvärdet 100 ppm är det dock lågt och någon akut risk förefaller inte uppstå. Som kortvarigt toppvärde har närmare 200 ppm uppmätts men inte heller det innebär akut risk.

Mätning av personlig skyddsutrustning

Halterna av identifierade ämnen ökar med ökad termisk extraktionstemperatur. Den största skillnaden mellan nya och använda textilier är i antal olika ämnesgrupper som kan påvisas. De påvisade ämnena finns i ytterst små mängder i textilier, $1000 \text{ } \mu\text{g/g}$ motsvarar 1000 ppm per vikt vilket är detsamma som 0,1%.

Det dominerande ämnet i alla prover (mest påfallande i 400°C prover) är N,N-dimetyl-acetamid. Därtill kommer ett antal fluorerade ämnen som har sitt ursprung i tillverkning, respektive vattenavvisande behandling, av textilier. Dimetylacetamid används som lösningsmedel vid tillverkningen, enligt en metod som kallas "wet spinning method".

Den andra största gruppen är delvis eller fullt fluorerade kolväten och alkoholer. Dessa ämnen ingår troligen i en blandning med teknisk benämning AFFF (Aqueous Film-Forming Foam) som har vattenavvisande egenskaper.

4-Nonylphenol är troligen en nedbrytningsprodukt från 4-Nonylphenoletoxylat vilket är en komponent i tvättmedel.

PAH är en säker indikator för brand eller förbränningsprocesser. Benso(a)pyren är klassad som cancerframkallande. Skillnader mellan PAH-halter från tabellerna 17 och 18 visar mycket tydligt positiv effekt av tvättningen för att avlägsna PAH från kläderna.

Undertextilier innehåller mycket små mängder av flyktiga/semiflyktiga organiska ämnen. Högre halter i nya textilier jämfört med använda – både för otvättade och tvättade alternativ – är inte logiskt förklarbart.

Största mängder av flyktiga/semiflyktiga organiska ämnen i kläder för brandmän är de som används vid tillverkning respektive behandling av textilier. Vid användning hamnar andra, brand- och rökrelaterade ämnen på ytan av textilier och kan eventuellt vara en källa till exponering.

Ämnen som har tillkommit vid tillverkning eller efterbehandling kan till stor del försvinna vid uppvärmning. Ämnen som tillkommer vid övning (brandgaser) kan till stor del försvinna genom tvätt.

De kvantifierade resultaten från den personliga skyddsutrustningen anges i toluenekvivalenter. Eftersom olika ämnestyper har olika respons på flamjonisationsdetektorn (FID), där i synnerhet halogenerade ämnen ger svag signal relativt toluen, innebär detta att verklig halt halogenerat innehåll är avsevärt större än vad resultaten visar.

Mätning av COHb

Resultaten från blodprover visar att proverna med COHb ökar med i genomsnitt 32% från morgon till kväll. Ökningen är inte signifikant på 95 %-nivån, men väl på 90 %-nivån.

Mätningarna är kortsiktiga och gjorda i en miljö med ganska låg men för instruktörerna vardagligt förekommande exponeringsgrad. Utgångsvärdena för COHb hos de undersökta instruktörerna ligger möjligen högre än i en oexponerad population.

Påverkan på kroppen

Undersökningen har kartlagt ett stort antal ämnen i den luft som omger övningsanordningarna och som såväl personal som kursdeltagare därmed vistas i med viss regelbundenhet. Registreringar har gjorts beträffande såväl gaser som partiklar.

Gaserna som identifierats domineras av bensen, toluen, furfural, styren, fenol och kolmonoxid samt en grupp alifatiska kolväten. Partikelmätningar har gjorts ner till storleksordning 0,3 µm. Partiklar av denna storlek förs med inandningen ner i lungornas alveoler där utbytet mellan luft och blodet sker. Dessa partiklar binder ämnen som finns i omgivningen till sin yta och kan således föra dessa ibland gravt hälsofarliga ämnen till lungorna och ligga till grund för toxisk påverkan på individen. De ämnen som finns i

anslutning till övningsanordningar och som kan binda sig till partiklar härrör dels från de förbränningsprodukter som uppstår vid brand, dels de som frigörs från den personliga skyddsutrustningen då denna upphettas, antingen i samband med övning eller i samband med torkning i värme. Dessa ämnen utgörs av en mängd olika halogena och polyaromatiska kolväten (isocyanater, kreosot mm), acetamider, fenoler, aldehyder, organiska och oorganiska syror, cyanider, nitrösa föreningar mm. Generellt kan sägas att de ämnen som redovisats i denna studie alla förekommer i låga koncentrationer, med goda marginaler under gällande gränsvärden, men exponeringen är frekvent för berörd personal, och långtidseffekterna är oklara. Toluen klassas också som reproduktionstoxiskt.

De halogenerade kolvätena utgör en stor grupp ämnen (cirka 200). Bland dessa återfinns bland annat PCB, klorfenoler, flamskyddsmedel, mm. De hälsomässiga effekterna av dessa ämnen utgörs bland annat av stöningar i reproduktionsförmågan, leverskador och lungskador.

I gruppen polyaromatiska kolväten ser man effekter på kroppens immunologi och allergiutveckling (luftvägar och hud). Man har också konstaterat påverkan på den komplexa hormonella balansen. Dessutom finns rapporter om skador på lever och njurar.

Många ämnen i dessa grupper av kolväten har kopplats till utveckling av olika former av cancer.

Acetamid som förekommer i textilerna i skyddskläderna (som mjukgörare) är vid frisättning slemhinneirriterande och bildar vid upphettning giftiga gaser med påverkan på bl.a. lever och njurar.

Aldehyder, en grupp som förutom formaldehyd, vilket i sig kan framkalla lungskador vid inhalation, allergier, och dessutom är cancerogent. Gruppen innefattar även innehåller Akrolein (ett ännu ej förbjudet kemiskt stridsmedel) med egenskaper som är starkt irriterande på slemhinnor.

Fenoler är även de starkt irriterande på slemhinnor och ger vid inandning hosta och heshet och i högre koncentration andnöd och lungödem. Dessutom verkar de i låga koncentrationer aptitnedsättande, förorsakar yrsel, huvudvärk och nedsätter den muskulära kraften. Fenoler kan vidare ge påverkan på det centrala nervsystemet och skador på lever och njurar. Fenoler tas lätt upp via huden till blodcirkulationen.

Vi har i undersökningen sett förekomst av ftalater, mjukgörare i textila konstfibrer. De kan orsaka genetiska skador och leverskador.

Beträffande de gaser som identifierats är bensen den dominerande. Detta ämne är fettlösligt och kemiskt stabilt. Den har förmågan att efter upptag i kroppen reagera med DNA-molekylen och följaktligen påverka den genetiska massan. Härigenom blir den också cancerogen.

Toluen är en metylerad form av bensen och förekommer i olika lösningsmedel. Denna gas saknar de påtagliga cancerogena egenskaperna som ses hos bensen, men kan i höga koncentrationer påverka nervsystemet.

Furfural orsakar vid exponering i luftvägarna sveda, hosta, illamående och huvudvärk. I höga koncentrationer ses uttalade lungskador och lungödem. Vid hudkontakt förekommer akut irritation och stundtals utvecklas överkänslighet mot sol. Kronisk exponering kan leda till allergiutveckling och cancer.

Styren är ett lösningsmedel och verkar lokalt irriterande på luftvägarnas slemhinnor. Ämnet är sedan länge känt för att ge skador på nervsystemet, med trötthet, huvudvärk, minnesförluster och psykomotoriska störningar som följd. Senare års forskning har emellertid visat att detta ämne även kan ge skador i kromosomerna, varför gränsvärdet sänkts vid tre tillfällen under 1970-90 talen (till 20 ppm).

Kolmonoxid förekommer vid all förbränning, i högre eller lägre koncentrationer och binder sig mycket lättare till hemoglobinet än syre. Gasen ger på kort sikt upphov till yrsel, huvudvärk, illamående, trötthet, minskad reaktionsförmåga och koncentrationssvårigheter. Långsiktiga symptom är ofta depression och humörsvängningar, symptom som kan uppträda långt efter exponering. Ytterligare långsiktiga effekter, i synnerhet vid frekvent exponering (även i låga koncentrationer), kan vara en ökad åderförkalkning samt en ökad risk för hjärtinfarkt.

Sammantaget kan de i undersökningen funna ämnena ge upphov till trötthet, allergier, huvudvärk, hosta, irritation i slemhinnor, muskulär svaghet, olika former av cancer, leverförändringar samt hjärt-/kärlproblem.

Verksamhet i samband med övningar

Påverkan på kroppen beror givetvis på exponering av ämnen (som gas, aerosol eller partiklar). Utan exponering erhålls inte heller någon påverkan på kroppen. Utgångspunkten för ett bra skydd är således att inte exponera kroppen överhuvudtaget. För verksamhetens bedrivande är detta dock svårt eller rent av omöjligt att uppnå, eftersom praktisk övningsverksamhet är viktig i räddningstjänstssammanhang.

Utöver den mer eller mindre direkta påverkan på instruktörer, kursdeltagare eller servicepersonal, kan även andra personalgrupper påverkas av de partiklar och gaser som bildas i samband med övningar. Denna påverkan kan vara direkt, genom att gaser och partiklar följer med vinden och påverkar den inandade miljön även för administrativ personal, kökspersonal, städpersonal, m.fl. Men påverkan kan även vara indirekt, kanske i synnerhet för städpersonal som arbetar i framförallt omklädningsrum. I detta sammanhanget är det då viktigt att ta hänsyn till hur den personliga skyddsutrustningen hanteras.

Olika ämnen påverkar individer olika. Individers känslighet för variationer i ämne, dos, exponeringstid och synergieffekter, är olika. Extra uppmärksamhet bör därför riktas mot utvecklingen av allergier av olika slag, i synnerhet på lång sikt.

7. Slutsatser

Sammanfattningsvis kan vi utifrån de här genomförda undersökningarna och för de här undersökta parametrarna hävda att riskerna förefaller måttliga för instruktörer och övrig personal i samband med skolornas övningsverksamhet.

Samtidigt kan vi inte utesluta effekter på lång sikt, varför fortsatt arbete med att förbättra arbetsmiljön är tillrådligt. Det kan därför finnas anledning att göra tydliga förbättringar/förändringar inom vissa områden eller med avseende på vissa delar av verksamheten. Områden där den inandade miljön bör förbättras är där mycket personal eller kursdeltagare befinner sig med viss regelbundenhet, där koncentrationer av gaser och partiklar kan vara särskilt höga eller där personlig skyddsutrustning av olika anledningar kan vara svårt att använda.

Detta innebär att vi måste finna sätt att skydda personal och kursdeltagare så långt det är praktiskt möjligt, genom

- förbättrad personlig skyddsutrustning och förändrat användningssätt av den personliga skyddsutrustningen

I samband med brandövningar används endast två nivåer på skydd mot gaser och partiklar; fullständig skyddsklädsel inklusive andningsapparat eller inget andningsskydd alls. Det bör således undersökas möjligheter med flera nivåer av skydd beroende på omständigheter, arbetssätt, övningsanordning, bränsle, mm.

- förbättrad hantering av personlig skyddsutrustning

I dagsläget hanteras i princip all personlig skyddsutrustning (förutom andningsapparater) i samma utrymme (omklädningsrum, torkrum mm) oavsett renhetsgrad. Den personliga skyddsutrustningen bör således hanteras på annat sätt. Ett exempel på lösning kan vara att fysiskt separera hanteringen av personlig skyddsutrustning med olika grad av renhet samt att bättre rutiner för rengöring bör införas.

- förändrat genomförande av övningar (genom val av bränsle, pedagogisk utformning, mm)

De praktiska övningar är många gånger erforderliga för att uppnå mål och syfte med utbildningar. För detta ändamål krävs realistiska övningsscenarios och därmed bränslen som på olika sätt kan återspegla verkliga bränder. Det bör undersökas möjligheterna att förändra genomförandet av övningar, så att en god balans mellan arbetsmiljö, miljö, pedagogik och didaktik uppnås.

8. Fortsatt arbete

De i denna studie erhållna resultaten pekar endast på exponeringen av olika gaser och partiklar i samband med övningsverksamhet. De visar inte hur den mänskliga organismen har påverkats av de gaser och partiklar som släpps ut i samband med brandövningar. Fortsatta studier för att utröna denna påverkan är därför nödvändiga.

Den förelagda studien har i huvudsak fokuserat på förekomsten av olika ämnen samt partiklar som bärare av ämnen. Samtidigt har det inte tagits hänsyn till partiklars sammansättning. Ytterligare arbete kring partiklars kemiska sammansättning är nödvändig för att ge ytterligare kunskap som ingångsvärden till fortsatt förändringsarbete.

Ett av de större problemen med den inandade miljön torde vara förekomsten av kolmonoxid. De mätningar som gjorts i samband med såväl detta arbete som i andra sammanhang, tyder på ökade halter av kolmonoxid i blodet hos bland annat instruktörer i samband med brandövningar (COHb). På grund av såväl mätmetodik som analysmetoder är mätningarna dock inte helt entydiga. Vi föreslår därför en fördjupad studie av kolmonoxidhalt i blodet (COHb) vid olika exponeringar, för olika tidsperspektiv, mm.

För att få ett bättre grepp om symptom och sjukdomar bland räddningstjänstpersonal, bör en större enkätundersökning genomföras. Undersökningen bör därvid omfatta personal som har varit verksamma under en minimitid om cirka 15 – 20 år. Syftet med undersökningen bör bland annat vara att kunna precisera fortsatta undersökningar och även korrelera undersökningsresultat med verklig räddningstjänstverksamhet.

Under senare år har ett flertal studier och förändringar bedrivits kring arbetsmiljö och miljö, i samband med övningsverksamhet för räddningstjänstpersonal. Det finns en uppenbar risk att dessa studier och förändringar motverkar de pedagogiska målen i verksamheten. Det krävs därför ett övergripande arbete att studera hela kedjan, från utbildningsmål (ingångsvärden till utbildningen) till måluppfyllelse genom övningsverksamheten. Detta för att studera hur den pedagogiska verksamheten, arbetsmiljö samt miljö påverkar varandra. Syftet med arbetet skulle vara att dels föreslå förändringar och dels ge förslag till fortsatta arbeten inom respektive område, på kort och lång sikt.

Denna studie har i huvudsak riktats mot övningsverksamhet. Det vore önskvärt att även genomföra motsvarande studie för verklig räddningstjänst, där exponeringen för ämnen och partiklar från bland annat bränder kan vara högre samtidigt som frekvensen troligtvis är mycket lägre.

9. Begreppsförklaring

Begrepp	Förklaring
Aerodynamisk diameter	Diametern hos en sfärisk partikel med densiteten 1 g/cm^3 , vilken i luft har samma fallhastighet som den aktuella partikeln oberoende av dennas verkliga storlek, form och densitet.
Elektrofil	En elektrofil är en molekyl som dras till elektroner och negativ laddning.
Exponeringsmätning	Mätning av halten av ett ämne i inandningsluften, oftast med personburen utrustning
Hygieniskt gränsvärde	Högsta godtagbara genomsnittshalt (tidsvägt medelvärde) av en luftförorening i inandningsluften. Ett hygieniskt gränsvärde är antingen ett nivågränsvärde eller ett takgränsvärde
Kongener	Beteckning för varianter inom en och samma grupp av halogenerade organiska föreningar. Kongener har samma grundläggande molekylstruktur men olika halogeneringsgrad och/eller olika placering av halogenatomerna.
KTV/korttidsvärde	Ett rekommenderat värde som utgörs av ett tidsvägt medelvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter
Makrofag	En typ av vita blodkroppar som ingår i det immunförsvaret. Makrofager fungerar genom att "äta upp" främmande celler såsom bakterier, en process som kallas för fagocytos. Den främmande mikroorganismen omsluts av makrofagen, varigenom den utsätts för en rad nedbrytande processer.
Metabolism	Ämnesomsättning, ett sammanfattande namn på de processer där näringsämnen och läkemedel tas upp, omvandlas, bryts ner i kroppen, omsätts till energi och/eller avlägsnas ur kroppen.
Metabolit	Nedbrytningsprodukt från kroppen. Kroppen försöker oftast göra ämnet som ska nedbrytas vattenlösligt, för att det ska kunna avsöndras med urinen.
Molmassa	Storhet som anger vikten hos ett mol av ett ämne. En mol är cirka $6,0221415 \cdot 10^{23}$ molekyler.
NGV/nivågränsvärde	Hygieniskt gränsvärde för exponering under en arbetsdag.

PM ₁₀	Particulate Matter: Partiklar som passerar genom ett selektivt intag som med 50 % effektivitet skiljer av partiklar med en aerodynamisk diameter av 10 µm.
PM _{2,5}	Particulate Matter: Partiklar som passerar genom ett selektivt intag som med 50 % effektivitet skiljer av partiklar med en aerodynamisk diameter av 2,5 µm.
TEF	Toxisk ekvivalentfaktor: baseras på en sammanvägning av alla hittills tillgängliga toxicitetsstudier av dioxiner, för ett visst dioxinliknande ämne.
TEQ	Toxisk ekvivalent: utgörs av summan av enskilda kongeners koncentrationer multiplicerat med deras respektive toxiska ekvivalentfaktor, TEF.
TGV/takgränsvärde	Hygieniskt gränsvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter eller någon annan period (vissa ämnen)
wet spinning method	Tillverkningsmetod för syntetfiber: lösning av polymerer sprutas genom fina munstycken till ett bad av koaguleringsvätska.

10. Referenser

Mätresultat

Andersson, L. & Kling, H. *Gas- och partikelmätning vid brandövning, Räddningsverkets skola Revinge* (AMM-L-2009/3). Universitetssjukhuset i Örebro. 2009.

Langer, S. *Kvantitativ undersökning av flyktiga och semiflyktiga organiska ämnen från textilier* (P8 02732 B, 2008-12-118). MSB Ärendenummer D.nr.2009-900. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB. 2008.

Rosell, L. *Arbetshygieniska mätningar under släckövningar på Revinge Räddningsskola* (P8 02732 A, 2008-12-18). MSB Ärendenummer D.nr.2009-900. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB. 2008.

Övrigt

Akselsson, R., Bohgard, M., Gudmundsson, A., Hansson, H.-C., Martinsson, B., Svenningsson, B. *Aerosoler*. Avdelningen för arbetsmiljöteknik. Lunds Tekniska Högskola. Lund. 1994.

Alström, L. & Molin, A. *Minimering av miljöpåverkan från räddningstjänsternas övningar och övningsplatser* (rapport P21-367/01). Räddningsverket. 2001.

Andersson, B. *Combustion Products from Fires* (rapport 1029). Institutionen för Brandteknik. Lunds Tekniska Högskola. Lund. 2003.

Arbetsmiljöverkets författningssamling. *Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar*. AFS 2005:17.

Bellander, T., Svartengren, M., Berglind, N., Staxler, L., Järup, L. *SHAPE – The Stockholm Study on Health Effects of Air Pollution and their Economic Consequences*. Avdelningen för miljömedicin. Karolinska sjukhuset. Stockholm. 1999.

Bengtsson, L-G., *Inomhusbrand*. (U30-611/03). Räddningsverket. 2001.

Birgerson, B., Sterner, O., Zimerson, E., *Kemiska hälsorisker - Toxikologi i kemiskt perspektiv*. Berlings förlag. 1995.

Blomqvist, P., Persson, B., Simonson, M. *Utsläpp från bränder till miljön - Utsläpp av dioxin, PAH och VOC till luften* (Rapport P21-407/02). Räddningsverket. 2002.

Buehler, J.H., Berns, A.S., Webster, J.R., Addington, W.W. & Cugell, D.W. *Lactic acidosis from carboxyhemoglobinemia after smoke inhalation. Annals of Internal Medicine Vol. 82, Num. 6, 1975.*

- Dockery, DW., Pope III, CA., Xu, X., Spengler, JD., Ware, JH., Fay, ME., Ferris, Jr BG., Speizer, FE. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine*. 1993;329(24):1753-1759. 1993.
- Drysdale, D. *An Introduction to Fire Dynamics*. Wiley. 1998.
- Edling, C., Nordberg, G., Nordberg, M. *Hälsa och miljö – en lärobok i arbets- och miljömedicin*. Studentlitteratur. Lund. 2000.
- Eriksson, K. & Rengbo, E. *Miljö- och hälsopåverkan från räddningstjänstens brandövningar* (rapport 5066). Lunds universitet. Avdelningen för ergonomi och aerosolteknologi. 2004.
- Förordning (2001:527) om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft.
- Grennfelt, P. Holmer, B. Leksell, I., Lindahl, B. Lindskog, A. Steen, B. Wallin, G. Värmbj, G. & Ågren, C. *Luftvård*. Graphic systems. Göteborg. 1991.
- Hertzberg, T. *Partiklar från bränder – Förstudie* (P21-377/00). Räddningsverket. Karlstad. 2000.
- Hertzberg, T., Blomqvist, P., Dalene, M., Skarping, G. *Particles and isocyanates from fires* (report 2003:05), SP. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås. 2003.
- Hinds, W. *Aerosol Technology – Properties, behaviour and measurement of airborne particles*. Wiley. 1999.
- Häggröth, T., Johansson, B.-O., Edvardsson, H., Wester, B., Blomgren, B., Claesson, C.-G., Dalene, M., *Arbetsmiljöutredning* (P21-351/00). Räddningsverket. Karlstad. 2000.
- Ilano, A.L. & Raffin, T.A. Management of carbon monoxide poisoning. *Chest*, Vol. 97, Num. 1, 1990.
- Larsson, I. & Lönnermark, A. *Utsläpp från bränder – Analyser av brandfaser och släckvatten*. Rapport 2002:24. Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås. 2002.
- LeMasters, G.K., Genaidy, A.M., Succop, P., Deddens, J., Sobeih, T., Barriera-Viruet, H., Dunning, K., Lockey, J. *Cancer risk among fire fighter: a review and Meta-analysis of 32 studies*. JOEM vol. 48/11. 2006.
- Levin, J-O. (red.). *Principer och metoder för provtagning och analys av ämnen på listan över hygieniska gränsvärden* (nr 2000:23). Arbetslivsinstitutet. 2000.

Lidman, U. *Toxikologi*. Studentlitteratur. 2008.

Månsson, B. & Svensson, S. *Hälsoeffekter på instruktörer orsakade av frekvent hypertermisk exponering*. Räddningsverket. 2007.

Olofsson, C. & Dufva, E-M. (red.) *Astma, allergi och eksem i arbetslivet*. Studentlitteratur. 2006.

Persson, B., Simonson, M., Månsson, M. *Utsläpp från bränder till atmosfären* (SP rapport 1995:70). Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås. 1995.

Phalen, R. *Inhalation Studies: Foundations and Techniques*. CRC Press. 1984.

Spanne, M. *On the Determination of Reactive Compounds in Aerosols*. Lund. 2001.

SS-EN 12341. *Air quality – Determination of the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter – Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods*. 1998.

SS-EN 14907:2005 *Utomhusluft – Gravimetrisk standardmetod för bestämning av massfraktionen av PM_{2,5} av svävande partiklar*. 2005.

SS-EN 481, *Workplace atmospheres – Size fraction definitions for measurements of airborne particles* (Arbetsplatsluft – partikelstorleksfraktioner för mätning av luftburna partiklar). 1995.

Sterner, O. *Chemistry, Health and Environment*. Wiley. 1999.

Sterner, O. *Förgifningar och miljöhot*. Studentlitteratur. 2003.

Svensson, S. *Säker övningsmiljö – brand, utredning och förslag*. Räddningsverket. 2007.

Tewarson, A. *Generation of heat and chemical compounds in fires*. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. NFPA. 1995.

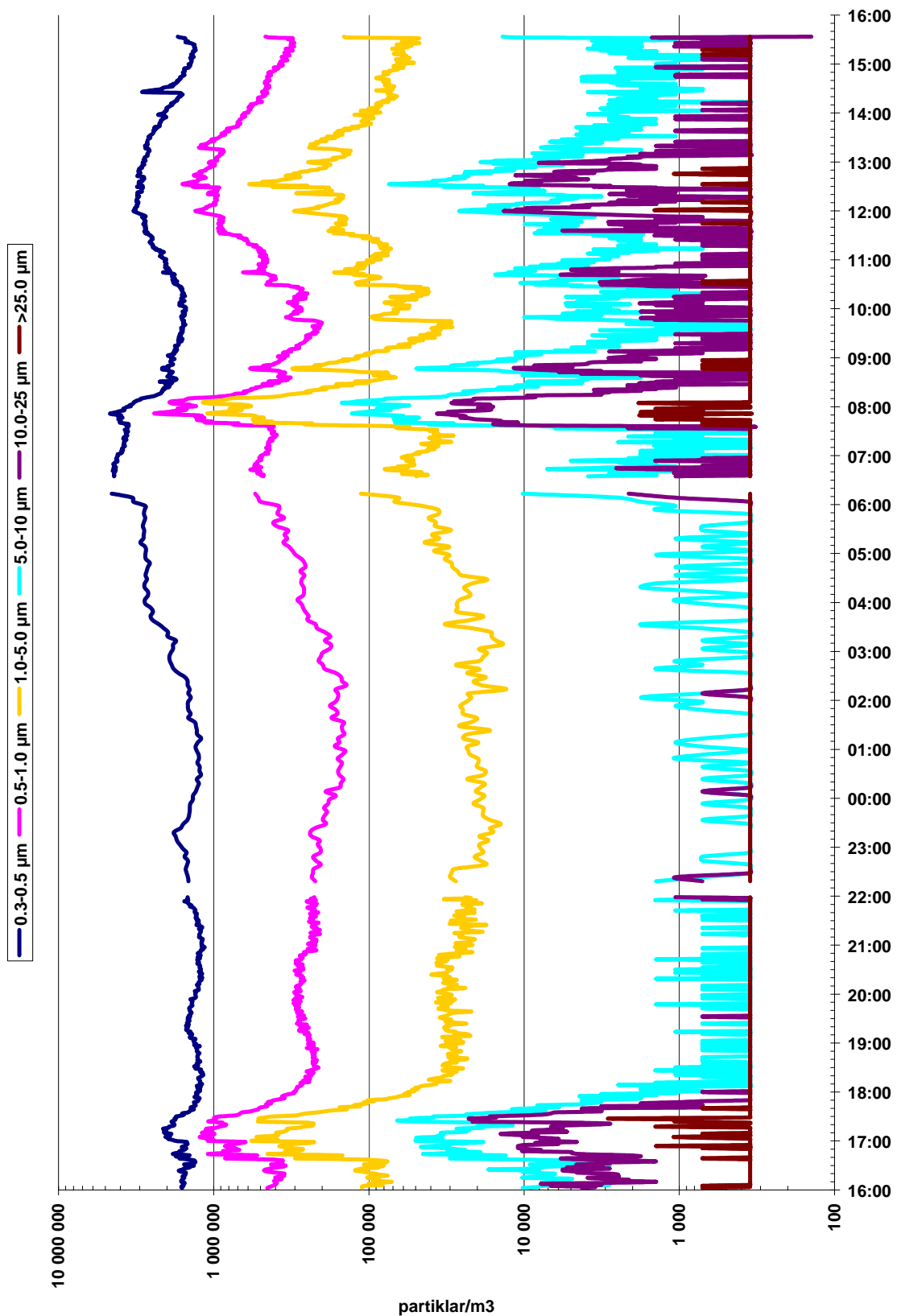
Tuovinen, H. *CO Formation from Soot and CO₂ in the Hot Gas Layer*. Rapport 2002:08. Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås. 2002.

<http://www.cdc.gov/NIOSH/>

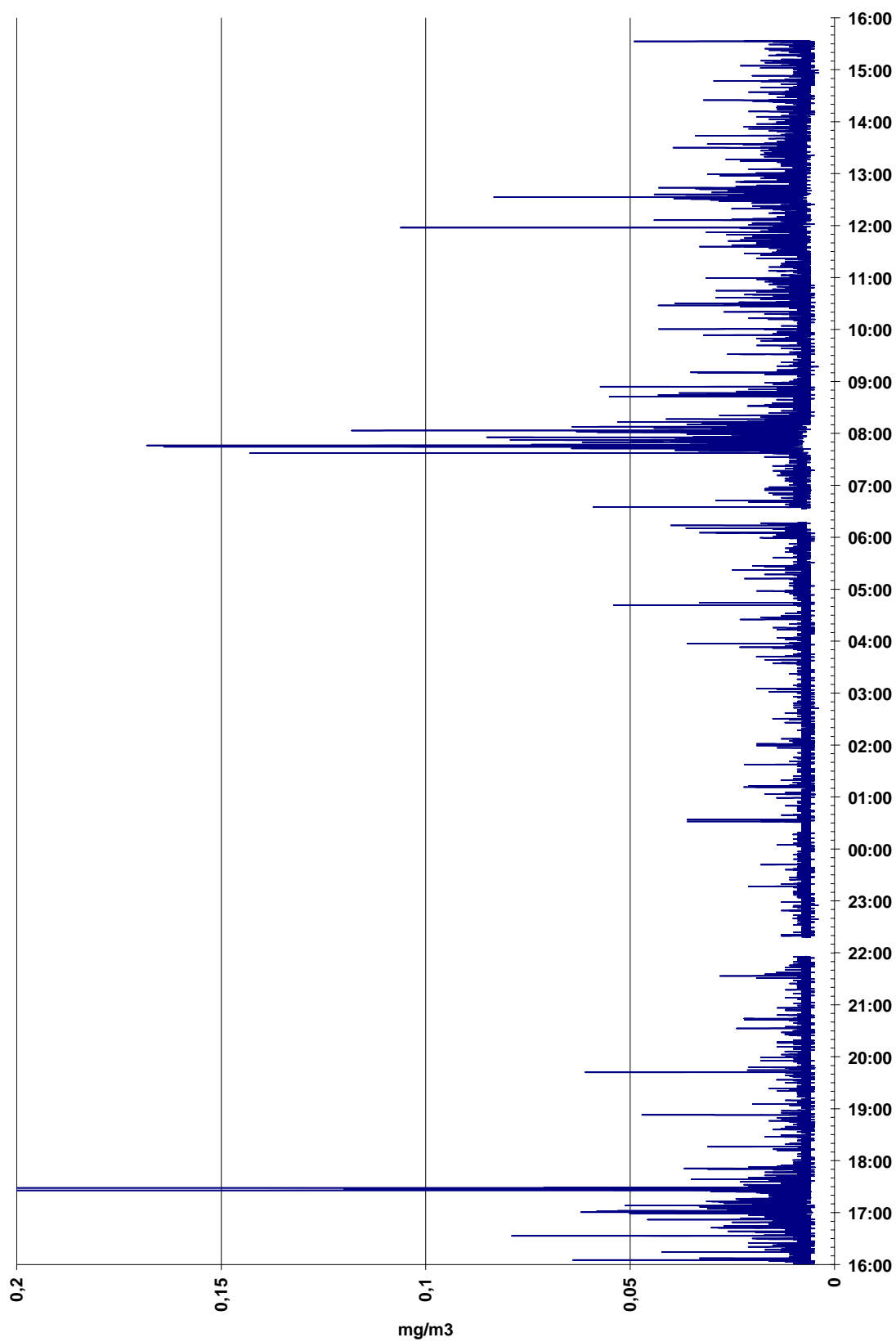
<http://www.faktasamlingcbrn.foi.se/>

11. Bilagor

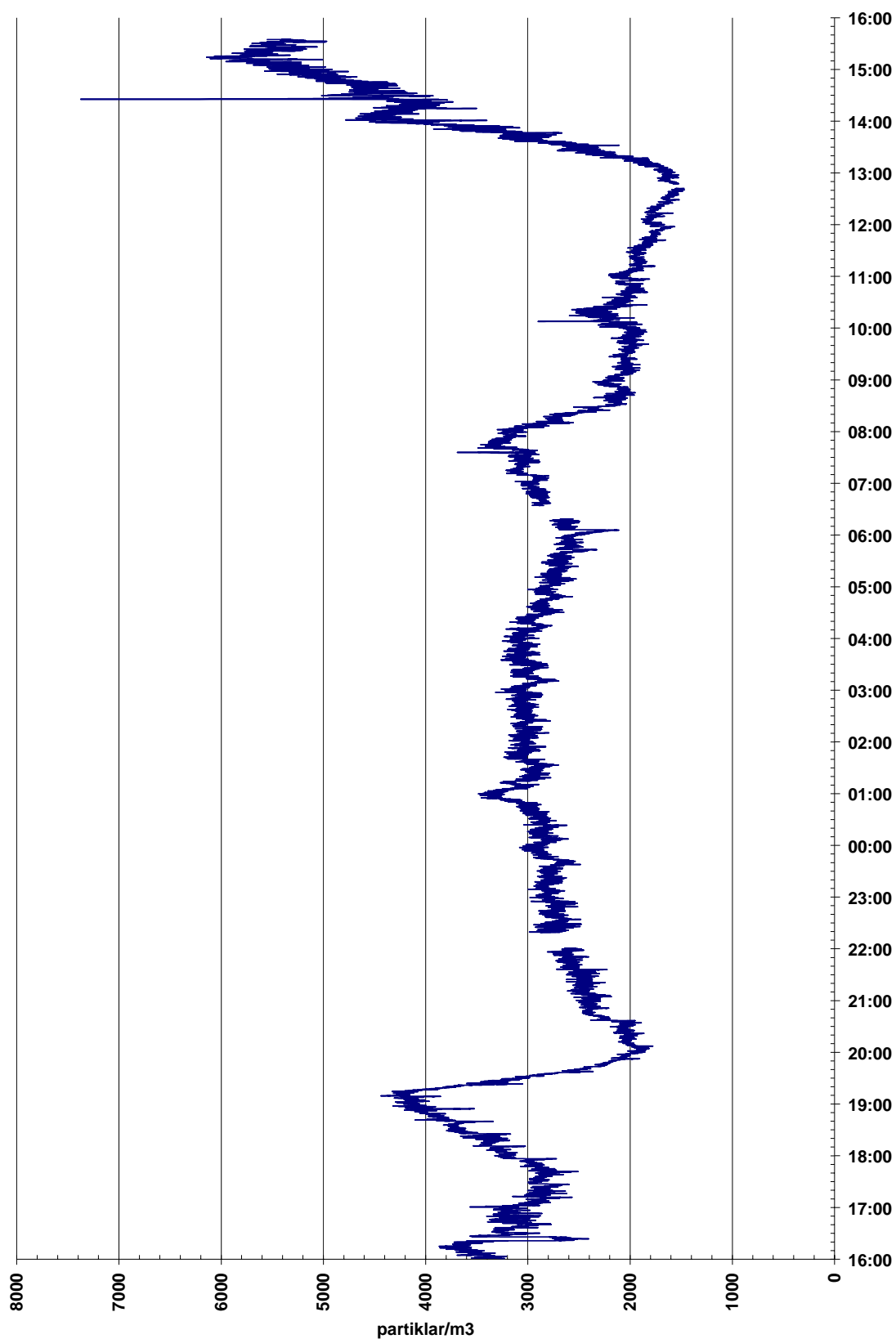
Bilaga 1; Grovomklädningsrum16 – 17 juni, Ci500



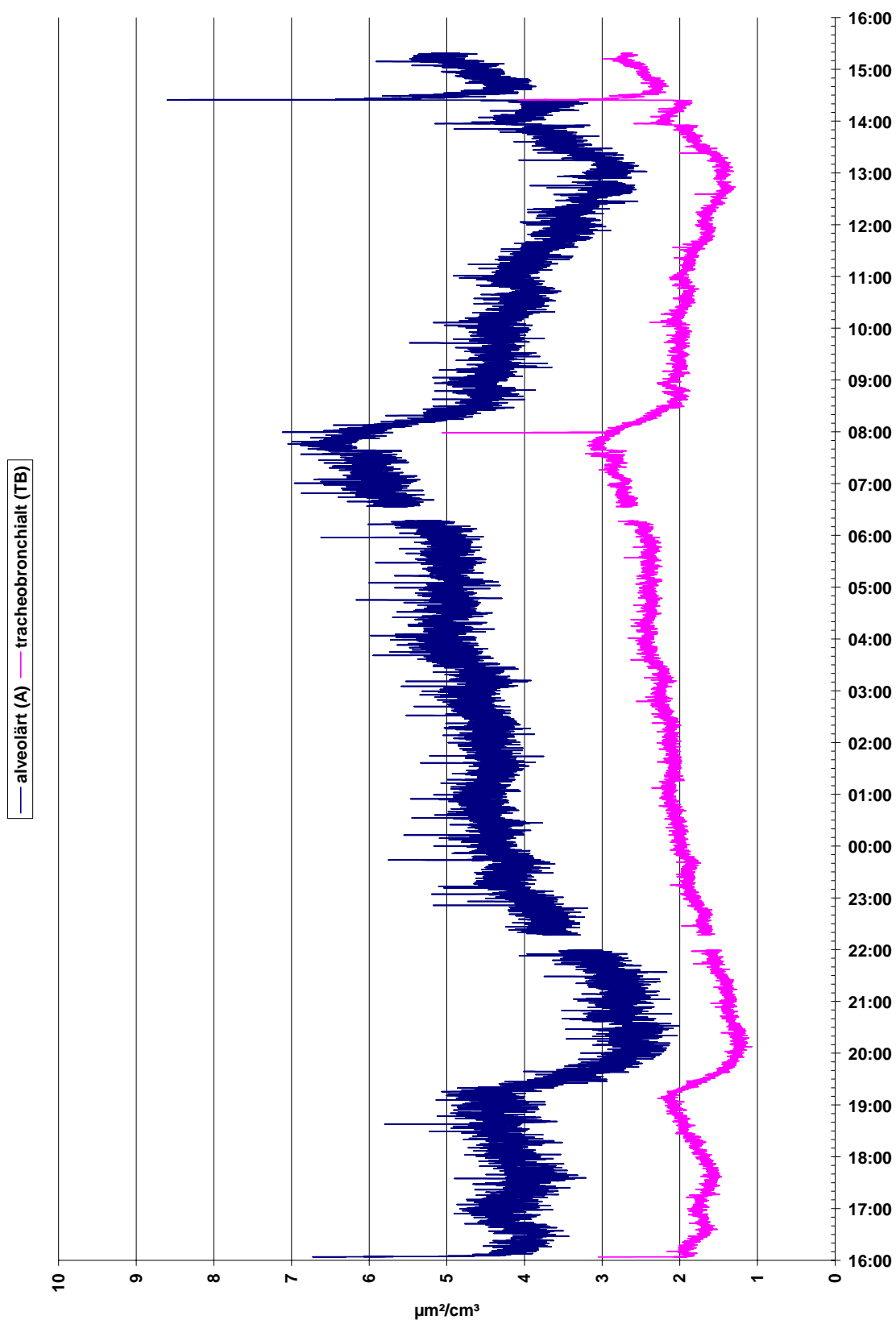
Bilaga 2; Grovomklädningsrum 16 – 17 juni, DataRAM



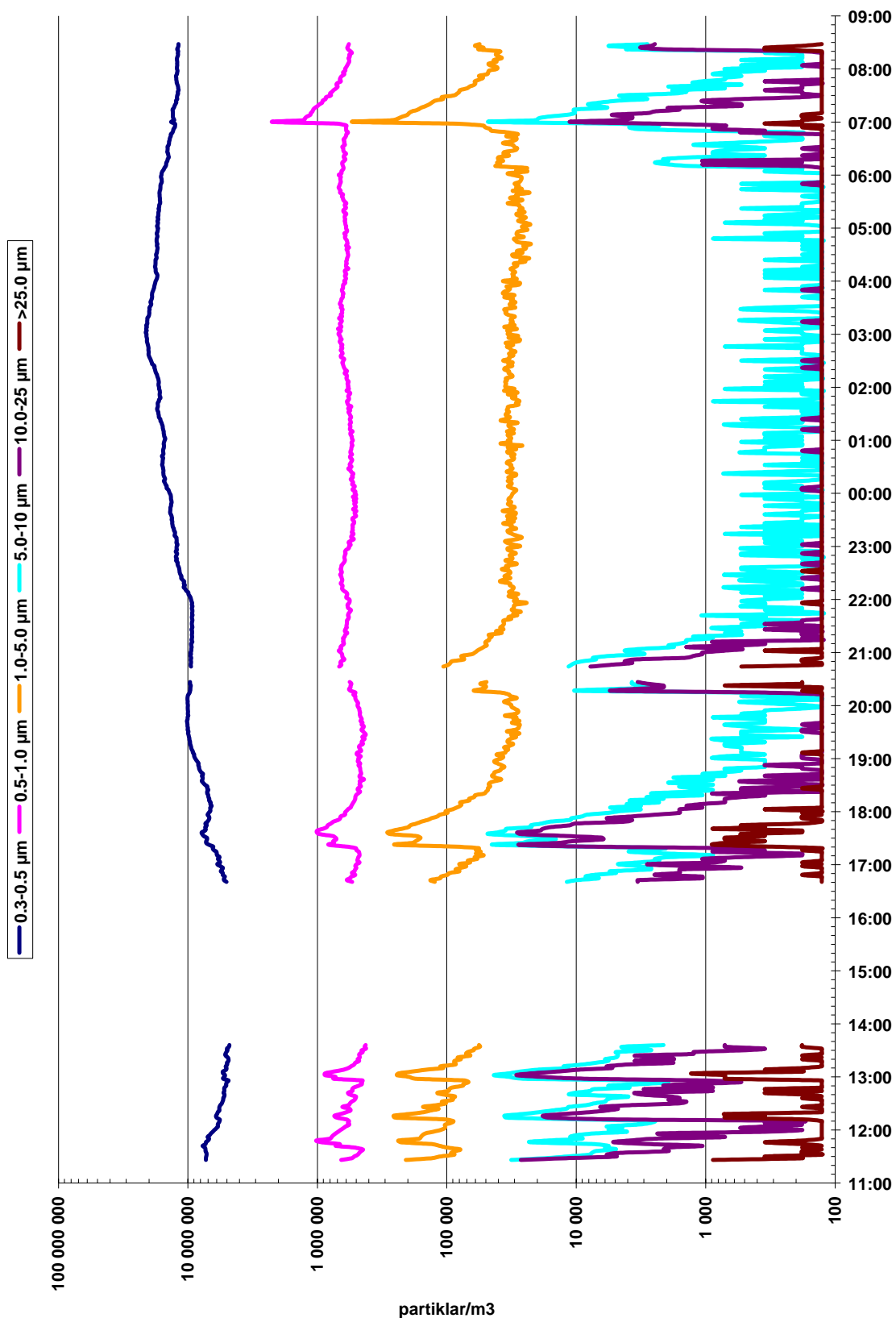
Bilaga 3; Grovomklädningsrum 16 – 17 juni, P-Trak



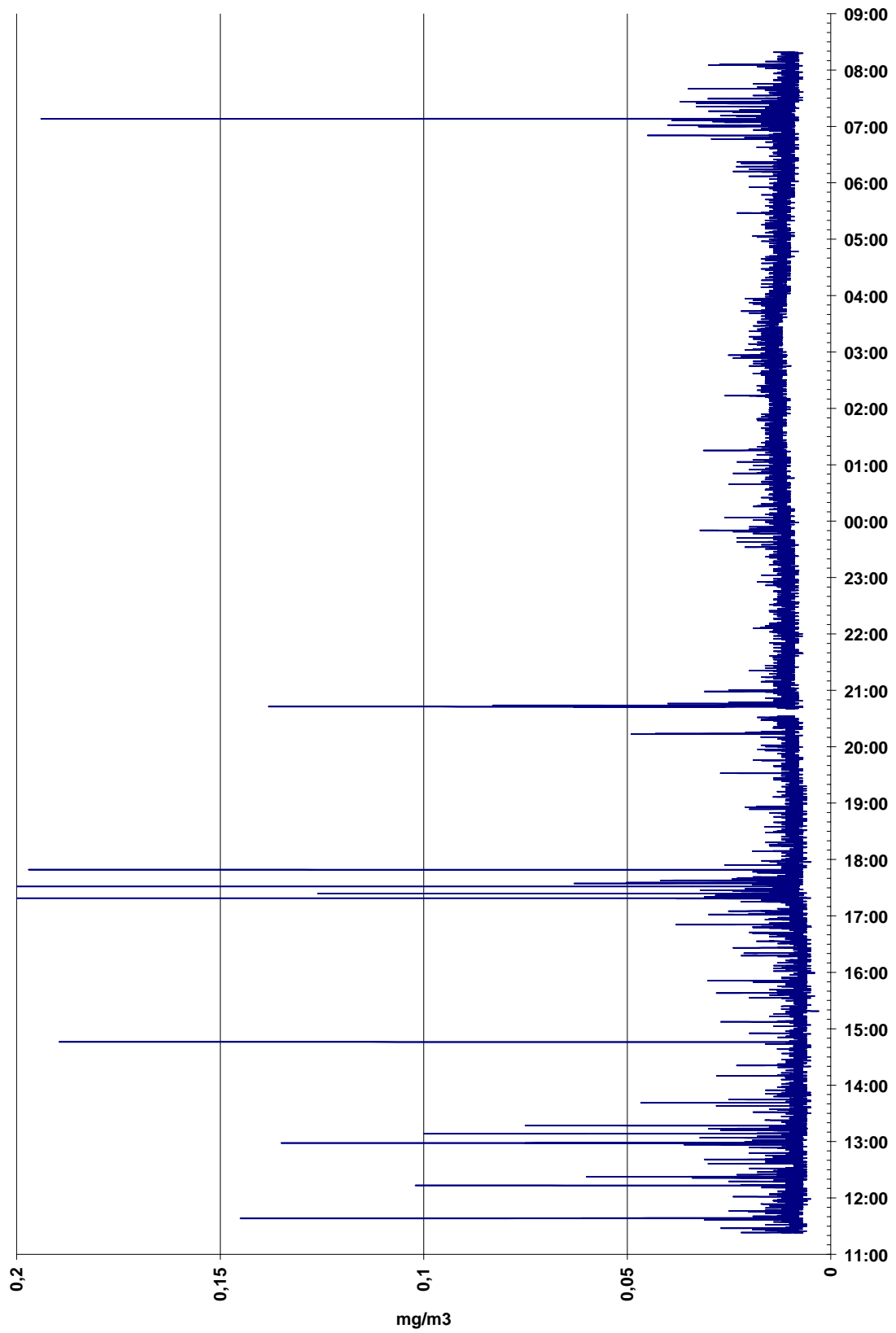
Bilaga 4; Grovomklädningsrum 16 – 17 juni, AeroTrak



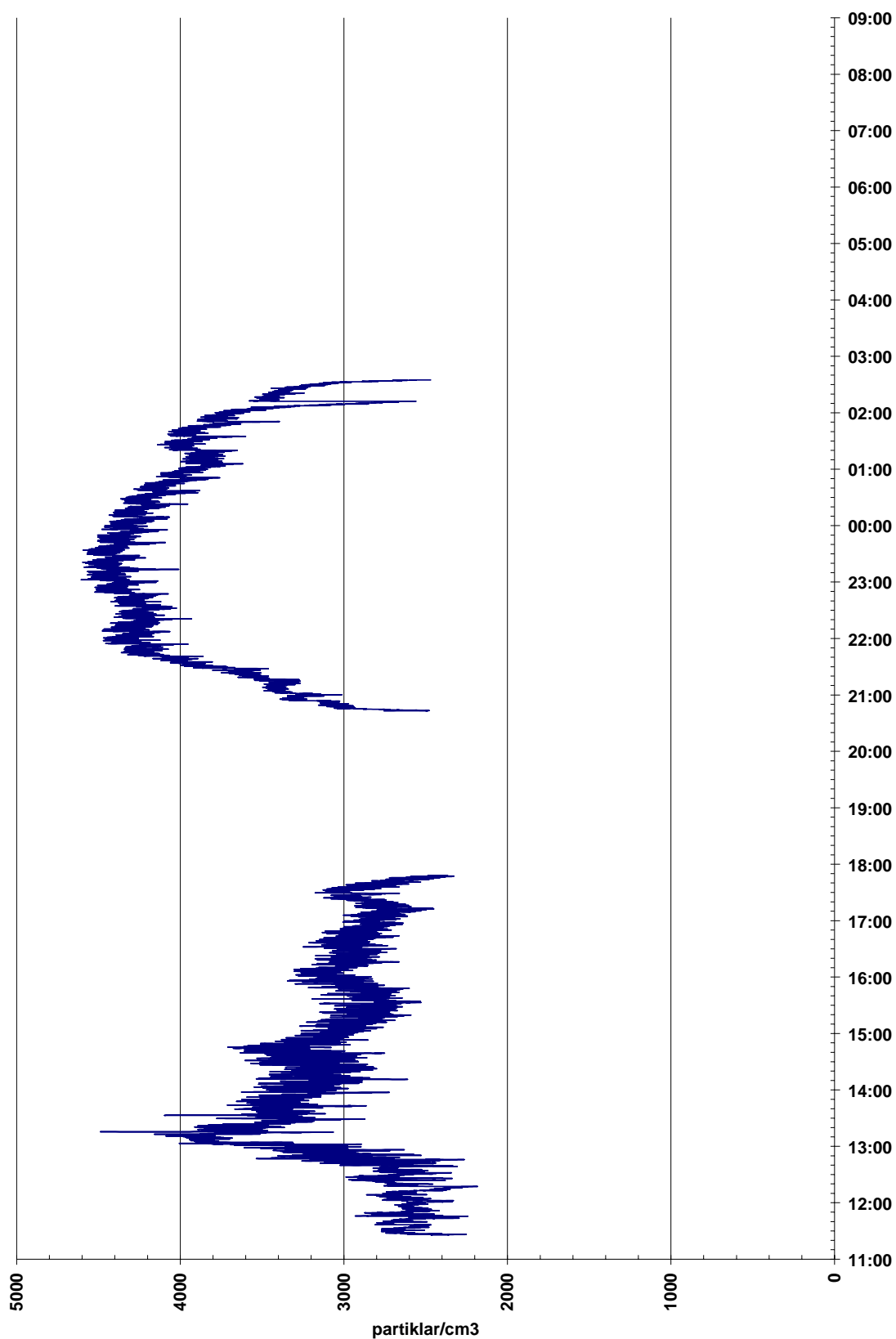
Bilaga 5; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, Ci500



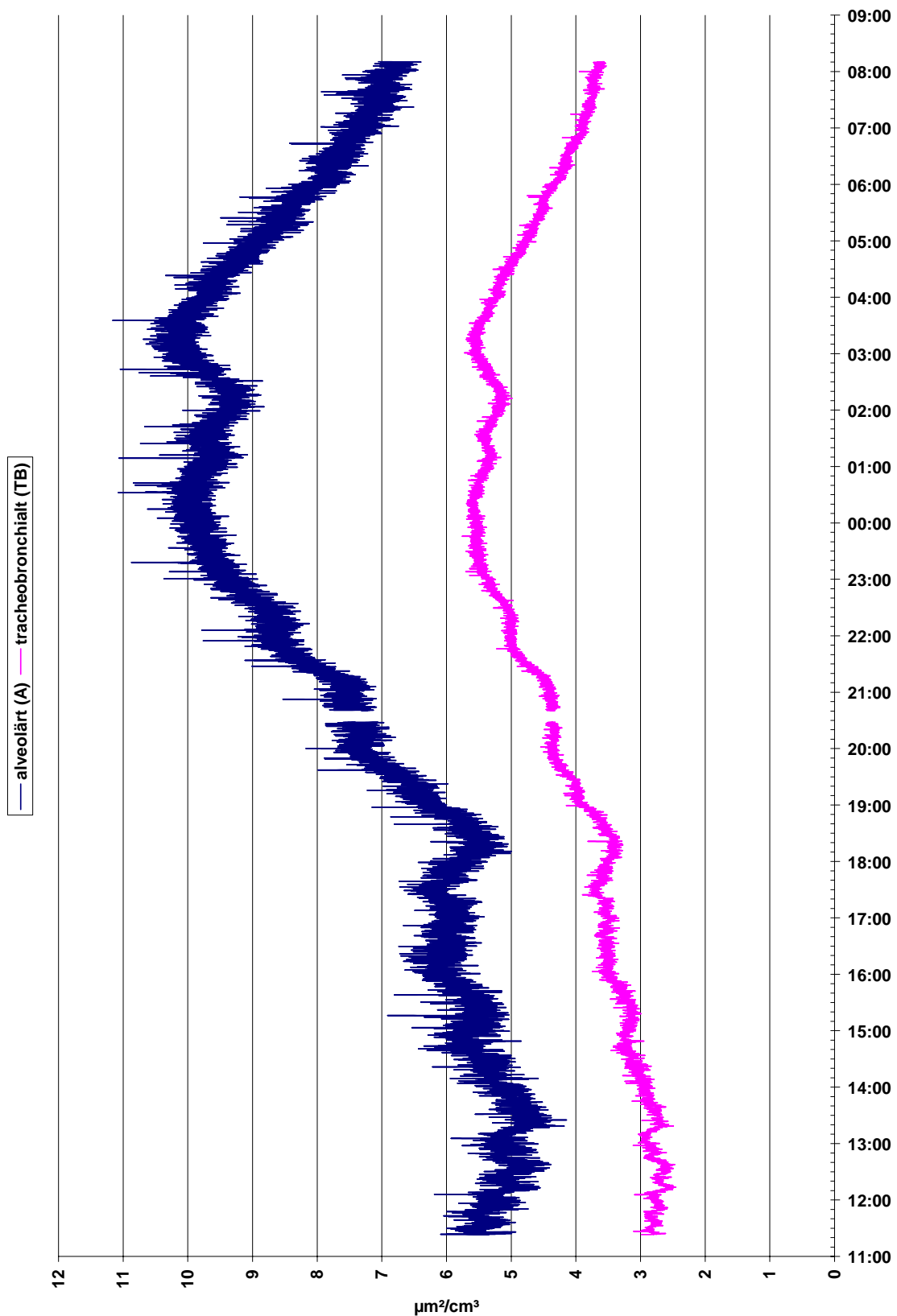
Bilaga 6; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, DataRAM



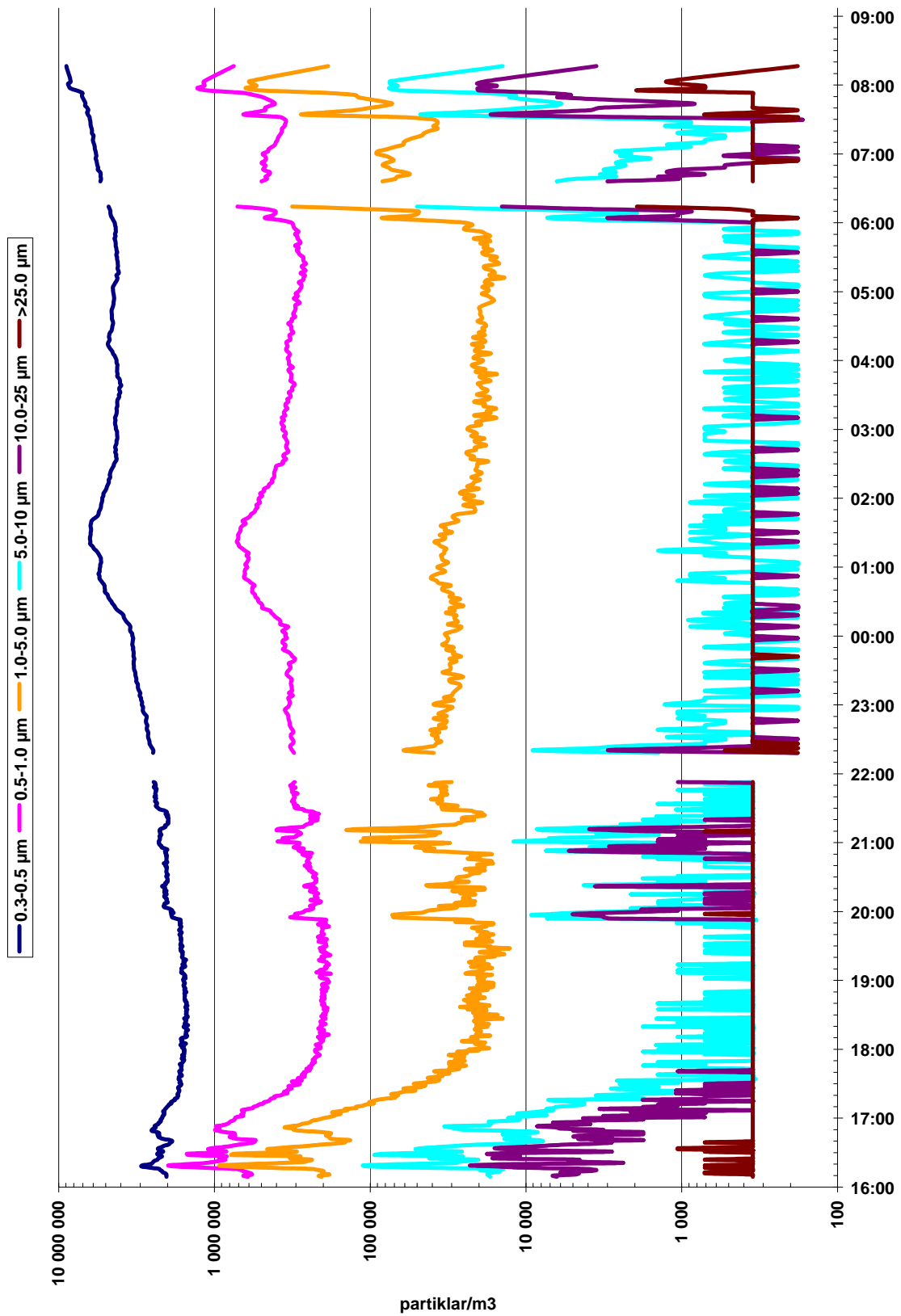
Bilaga 7; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, P-Trak



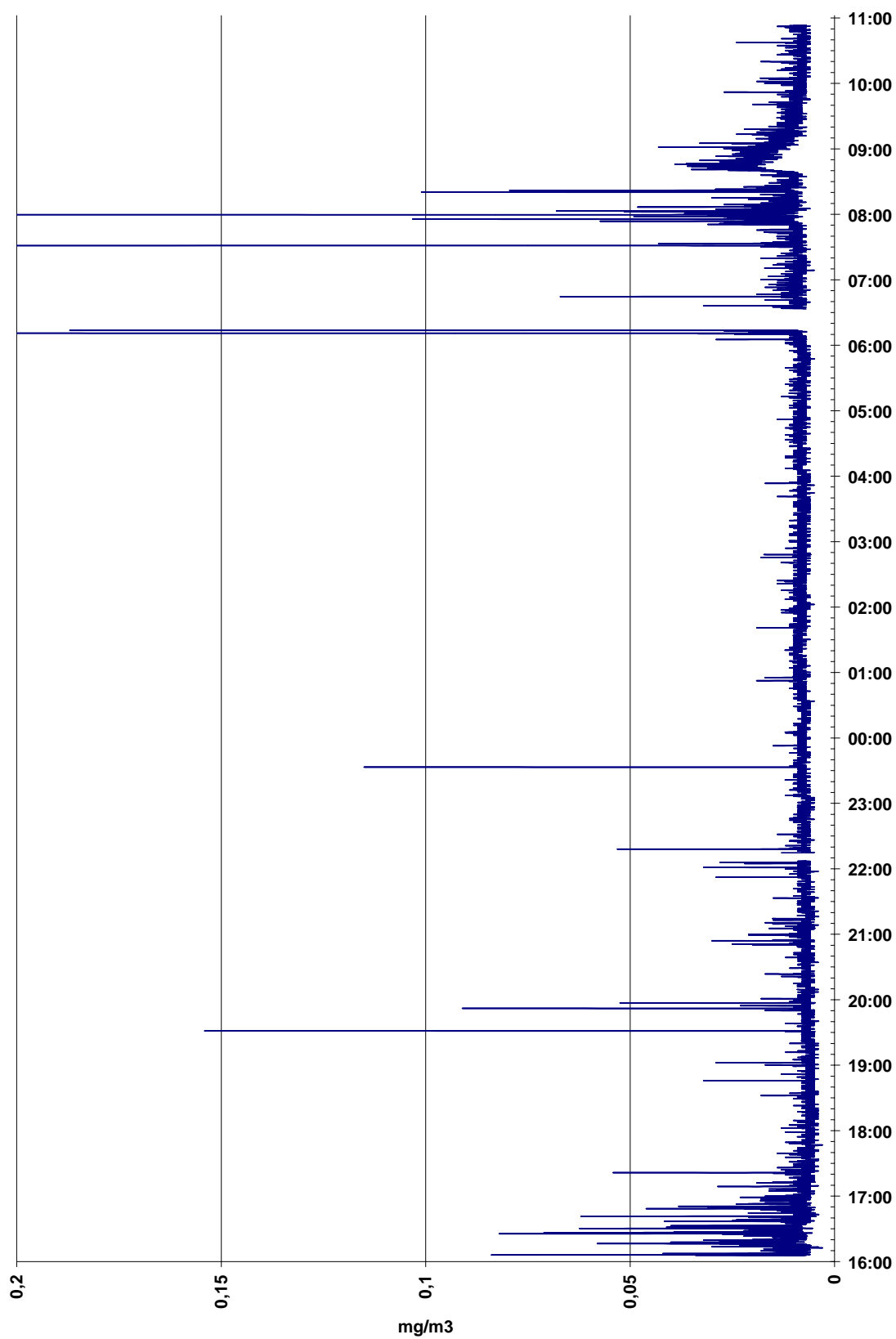
Bilaga 8; Finomklädningsrum 18 – 19 juni, AeroTrak



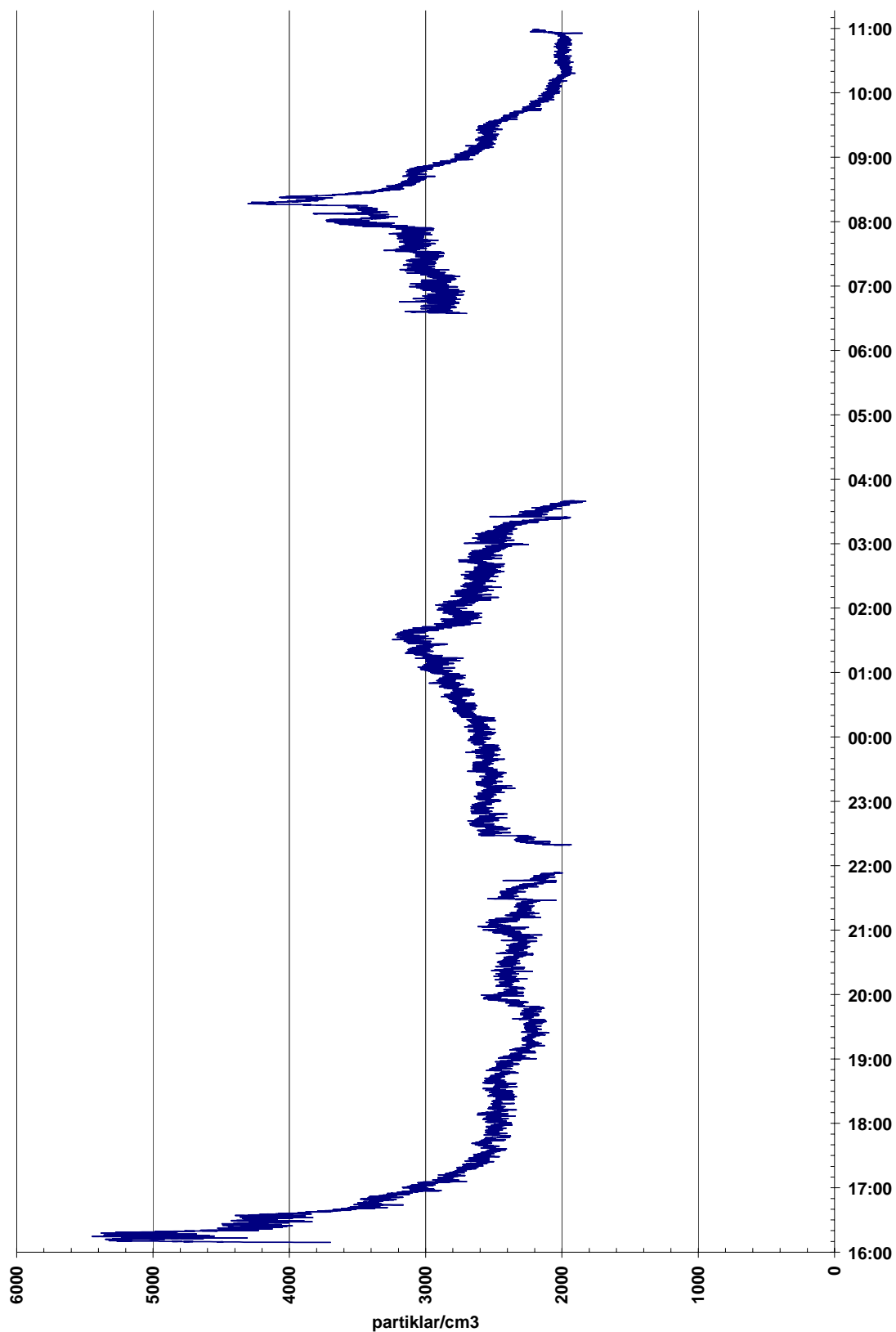
Bilaga 9; Torkrum 17 – 18 juni, Ci500



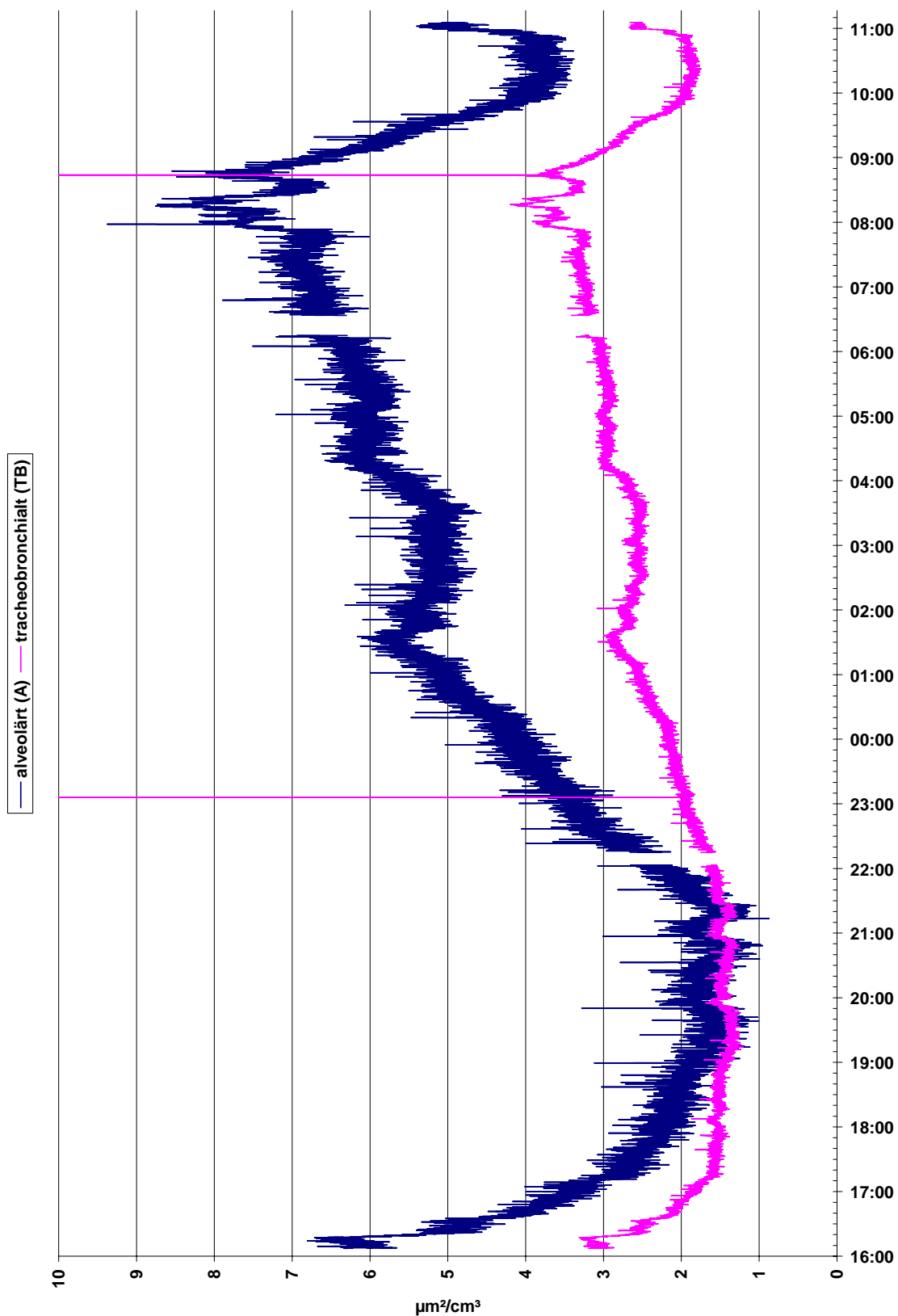
Bilaga 10; Torkrum 17 – 18 juni, DataRAM



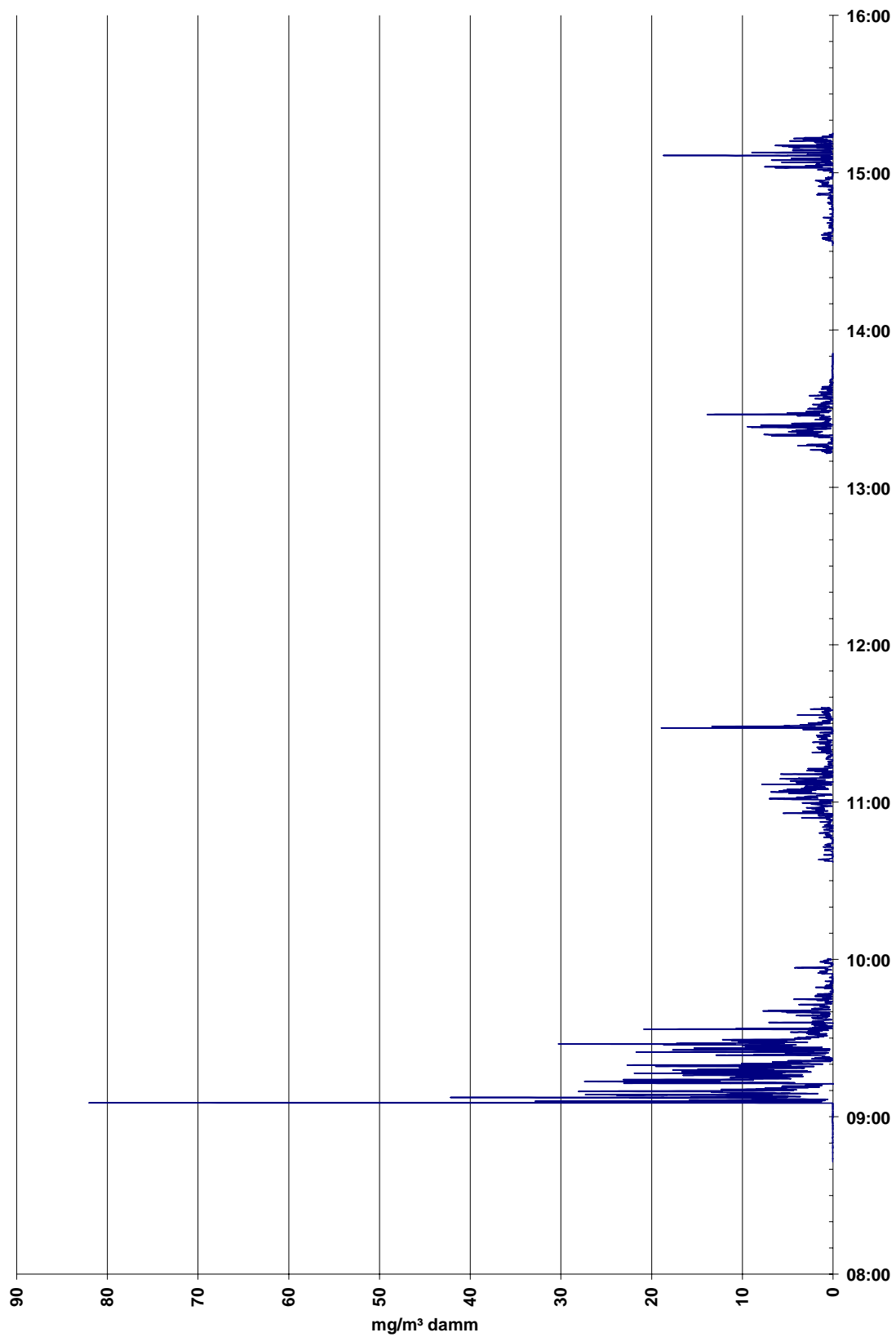
Bilaga 11; Torkrum 17 – 18 juni, P-Trak



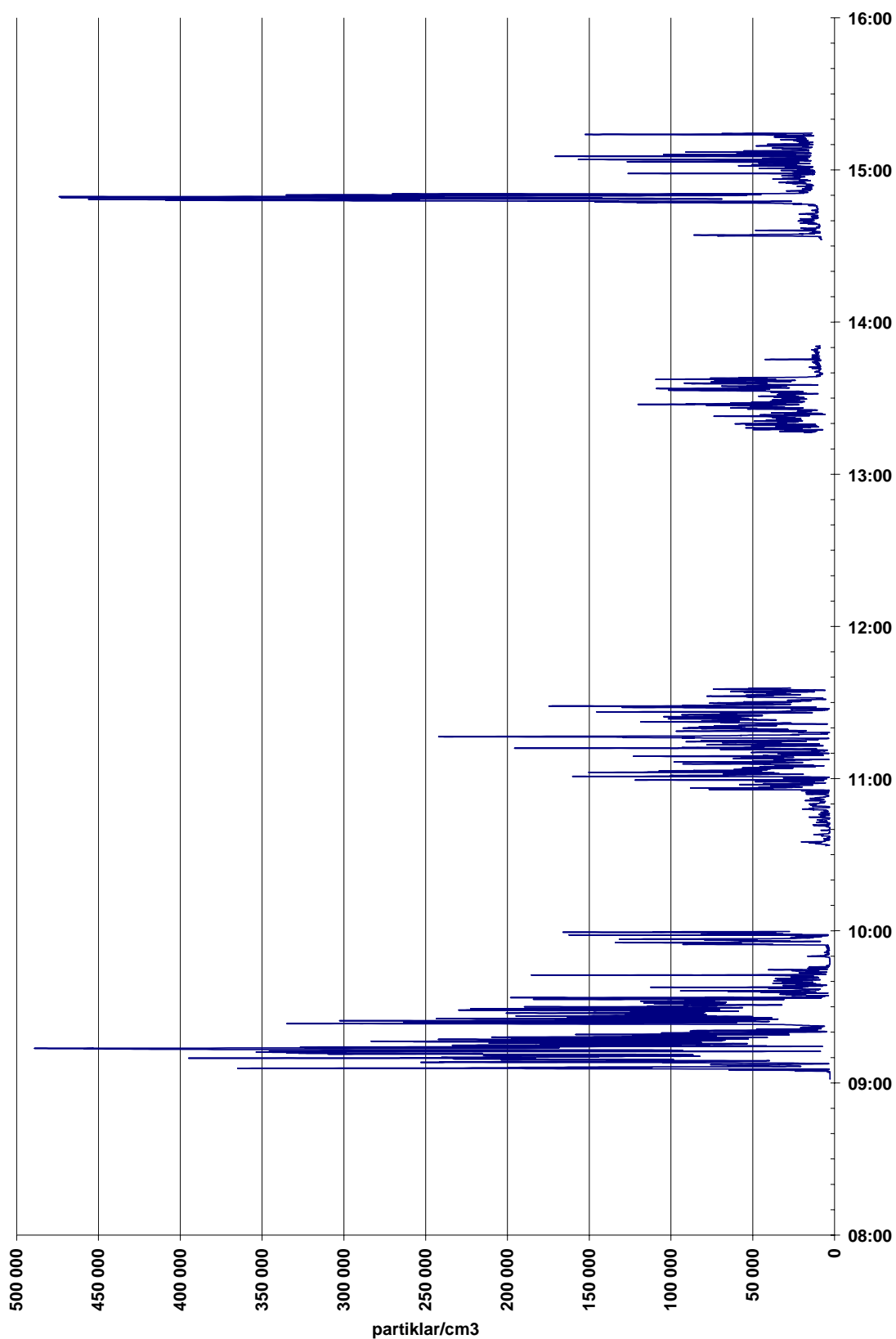
Bilaga 12; Torkrum 17 – 18 juni, Aerotrak



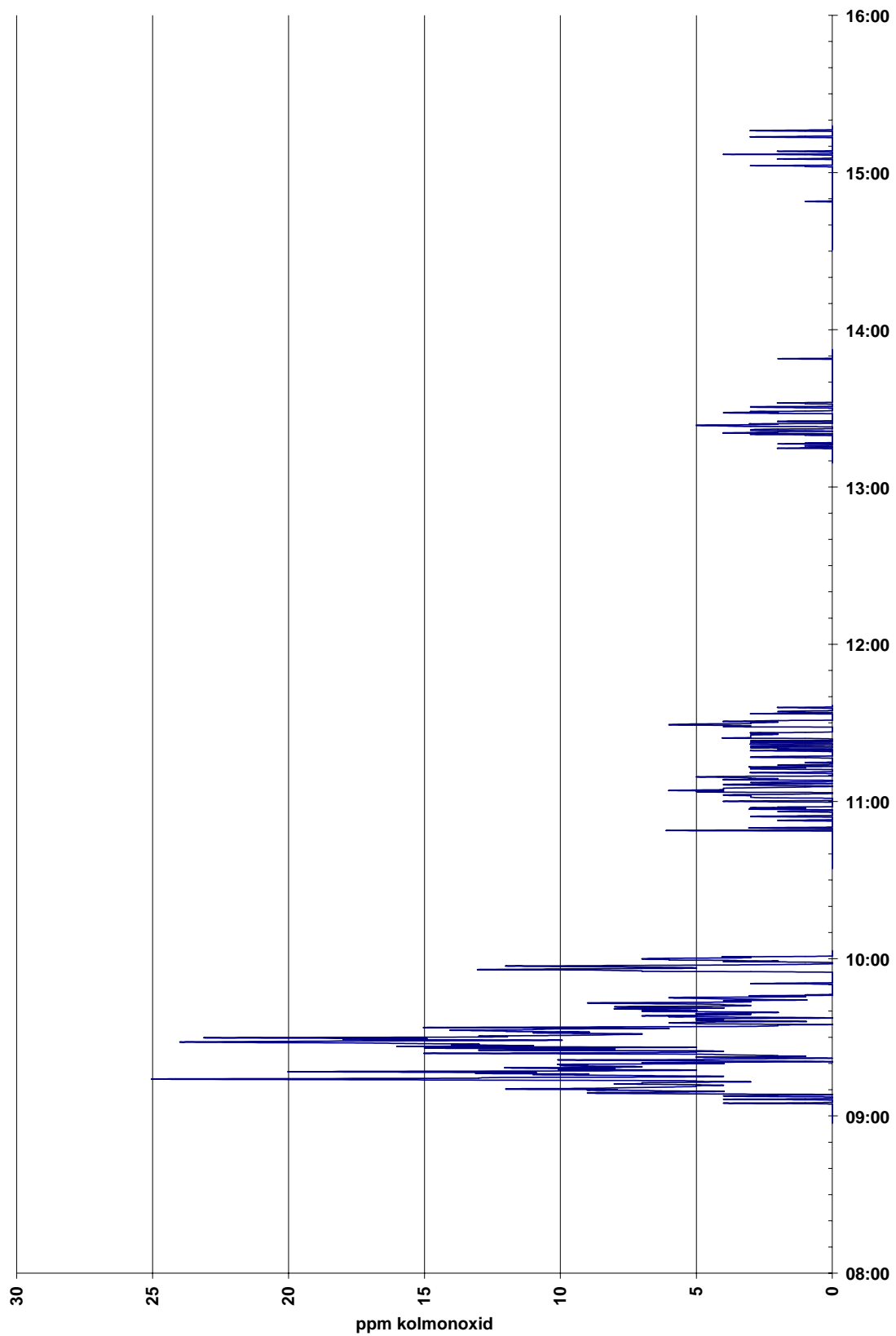
Bilaga 13; Brandövningar 1 – 4, 17 juni, DataRam



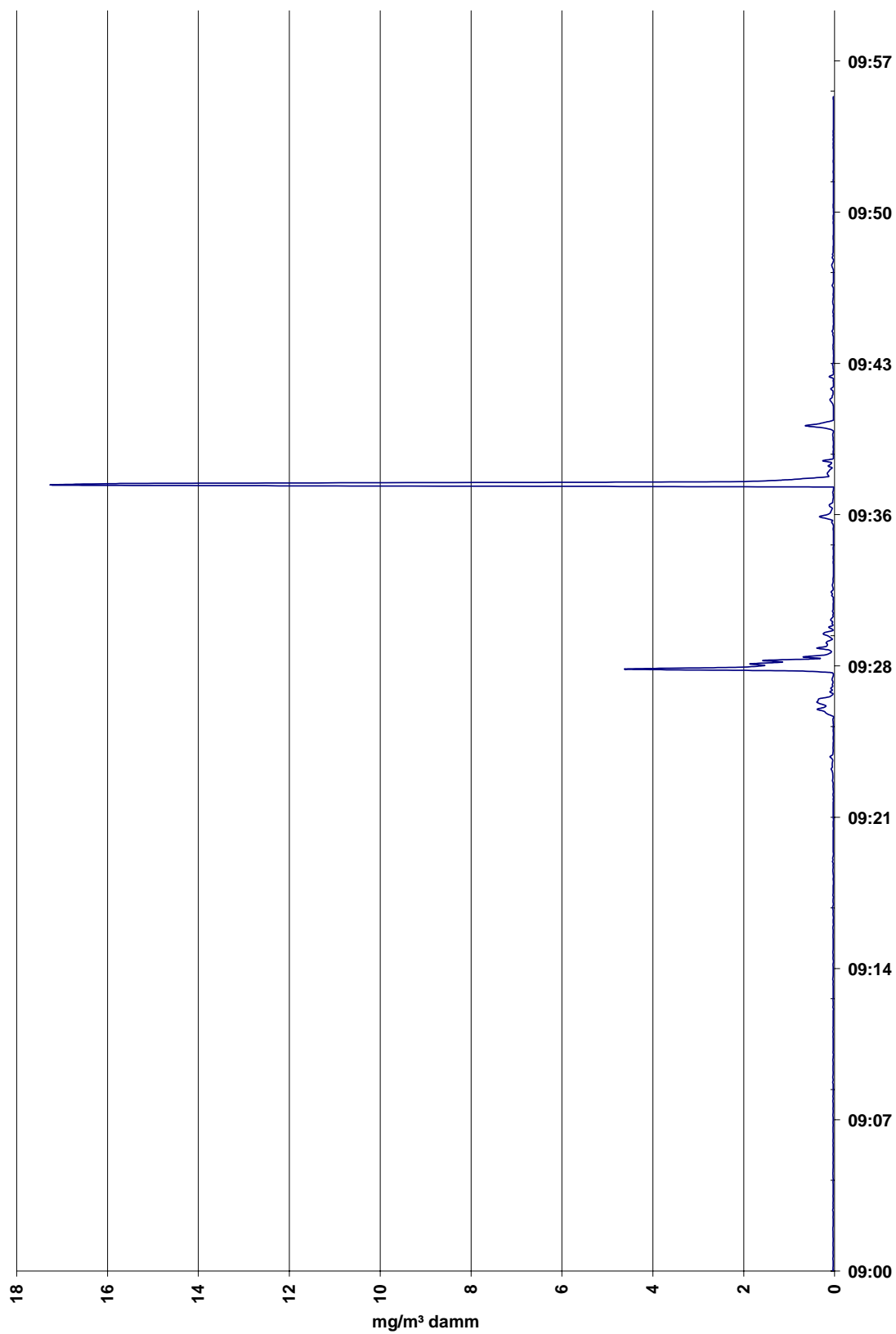
Bilaga 14; Brandövningar 1 – 4, 17 juni, P-trak



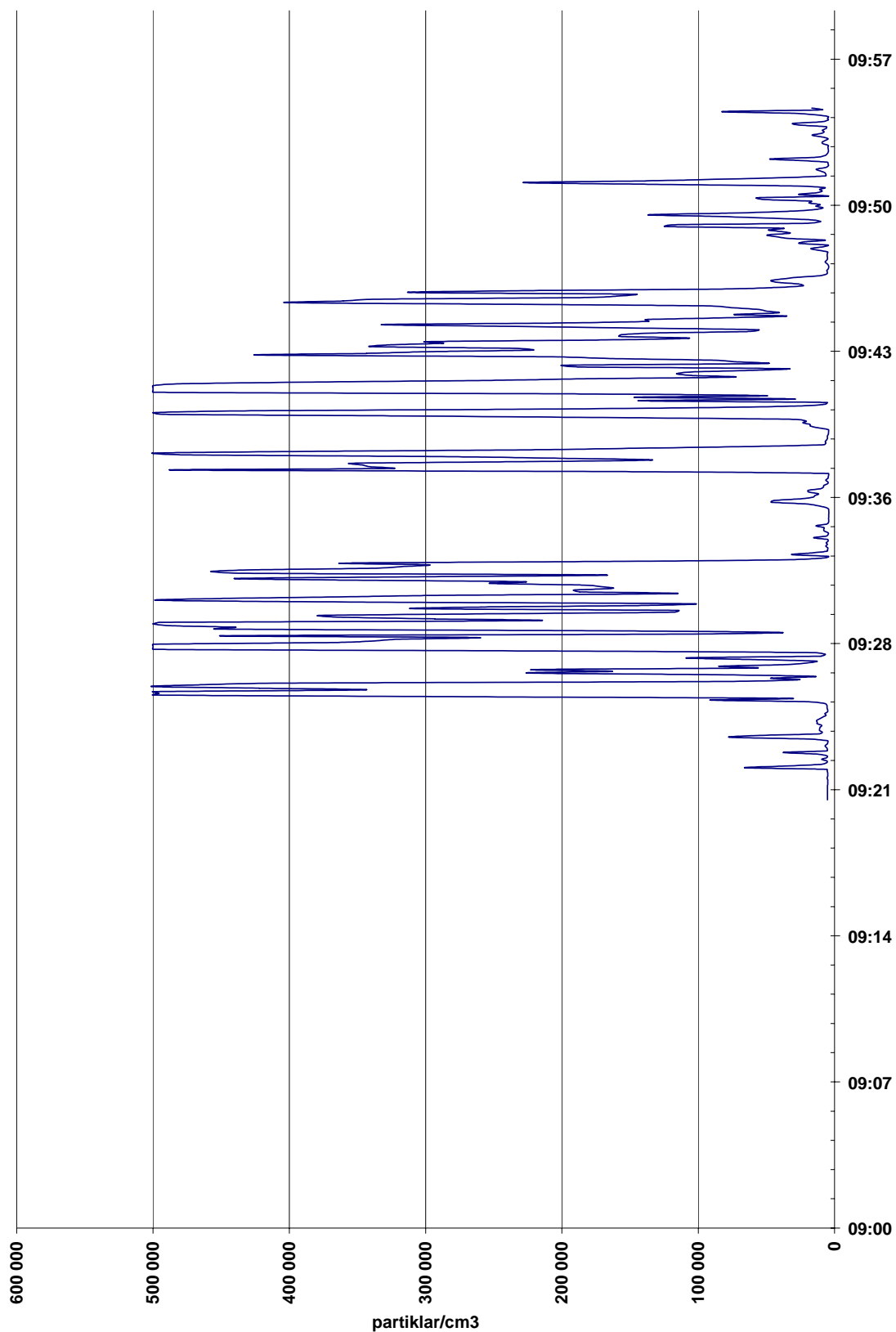
Bilaga 15; Brandövningar 1 – 4, 17 juni, Dräger PacIII



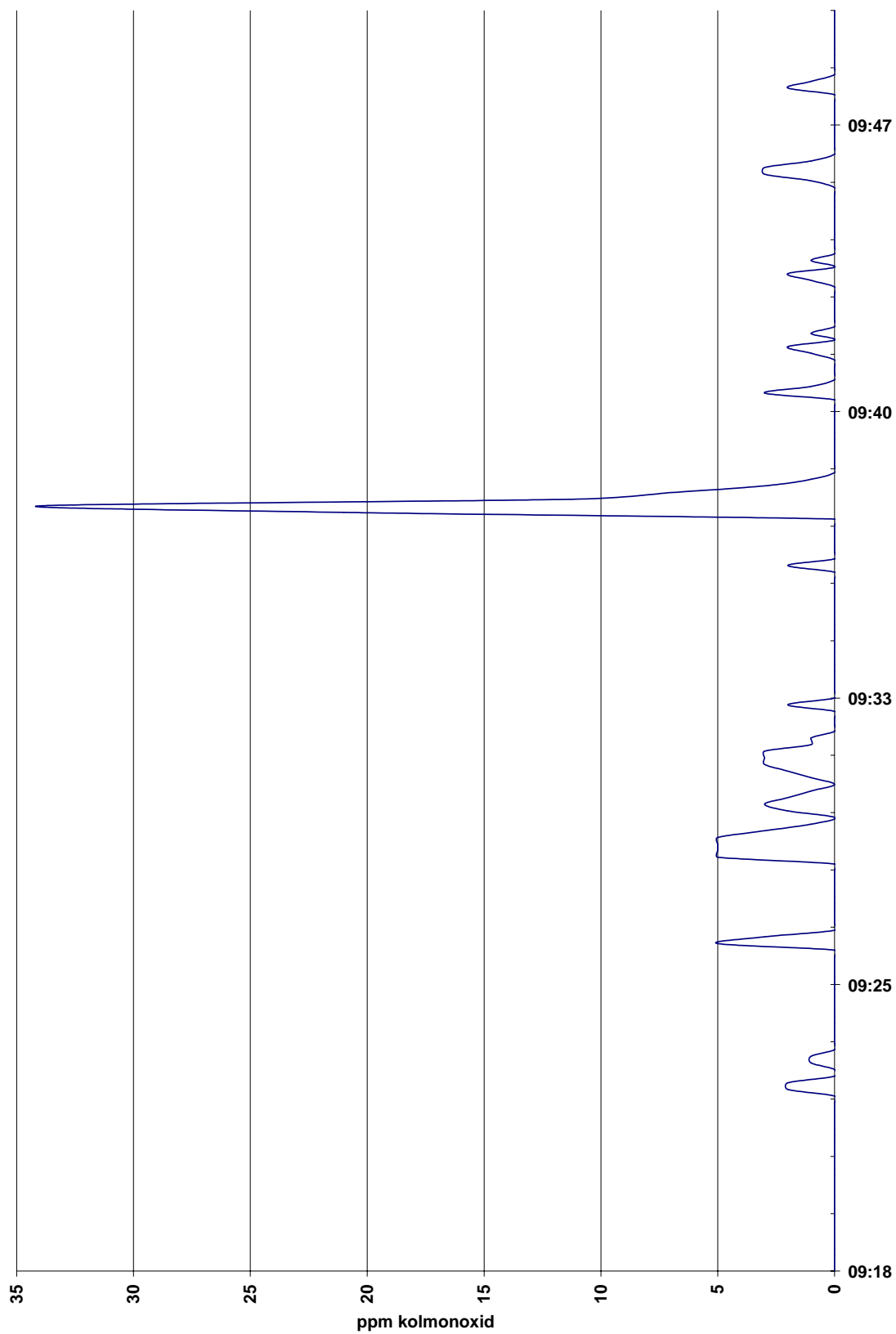
Bilaga 16; Brandövning 5, 18 juni, DataRam



Bilaga 17; Brandövning 5, 18 juni, P-trak

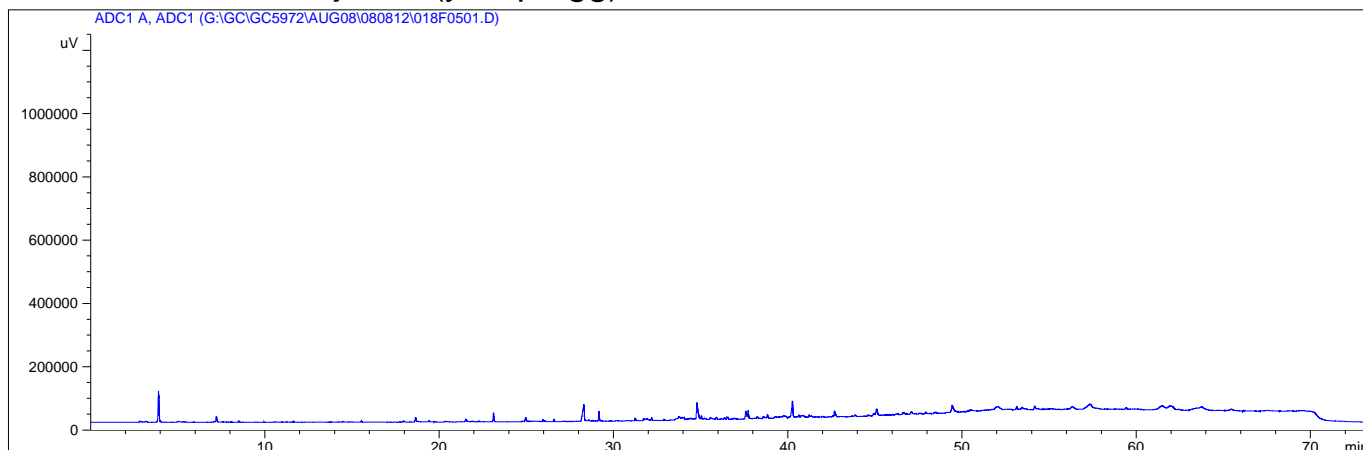


Bilaga 18; Brandövning 5, 18 juni, Dräger PacIII

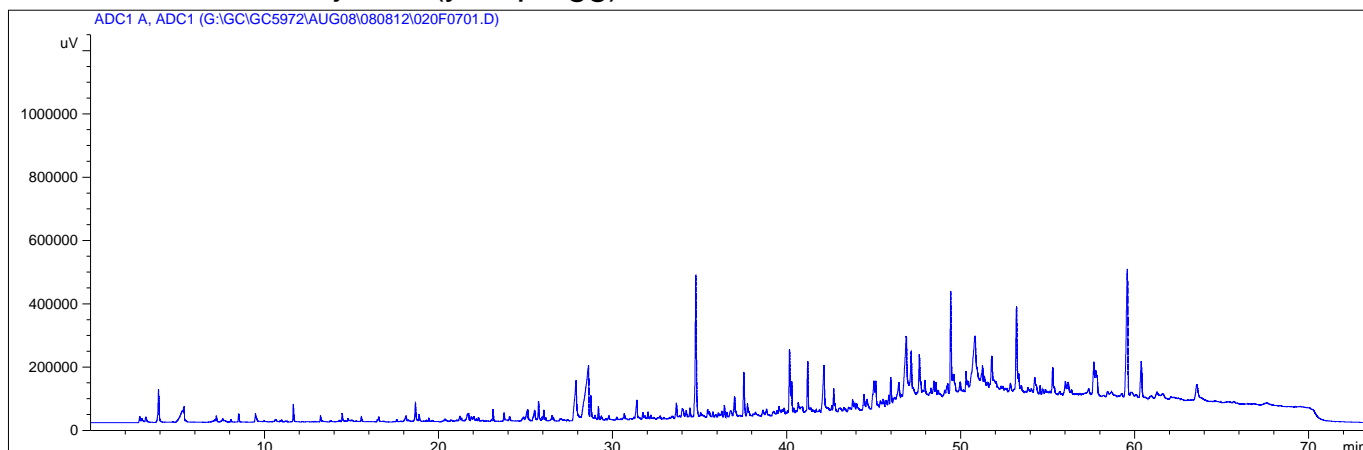


Bilaga 19; FID kromatogram från alla analyser

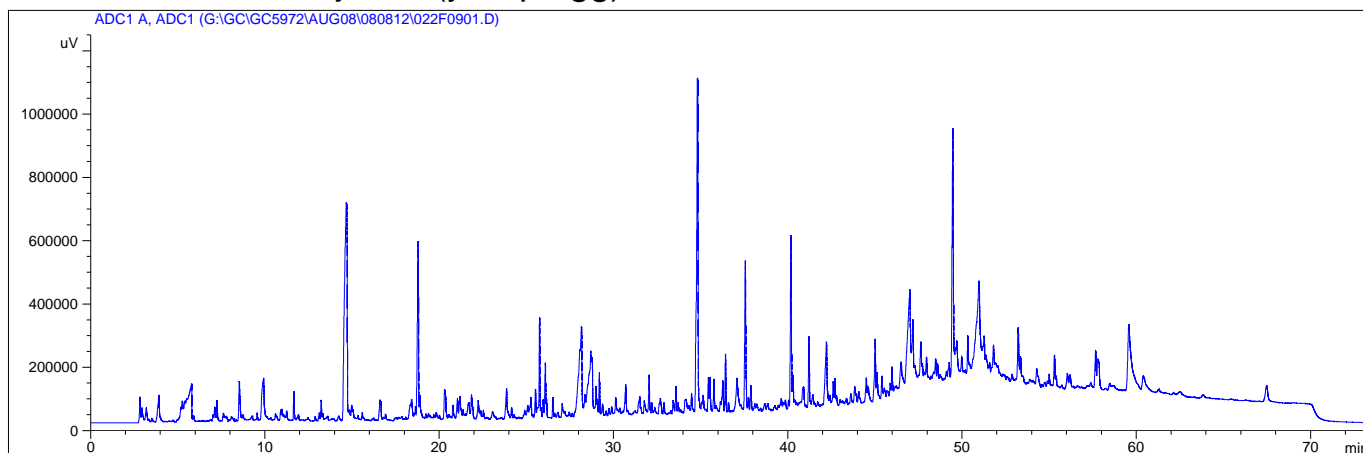
A; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 100 °C



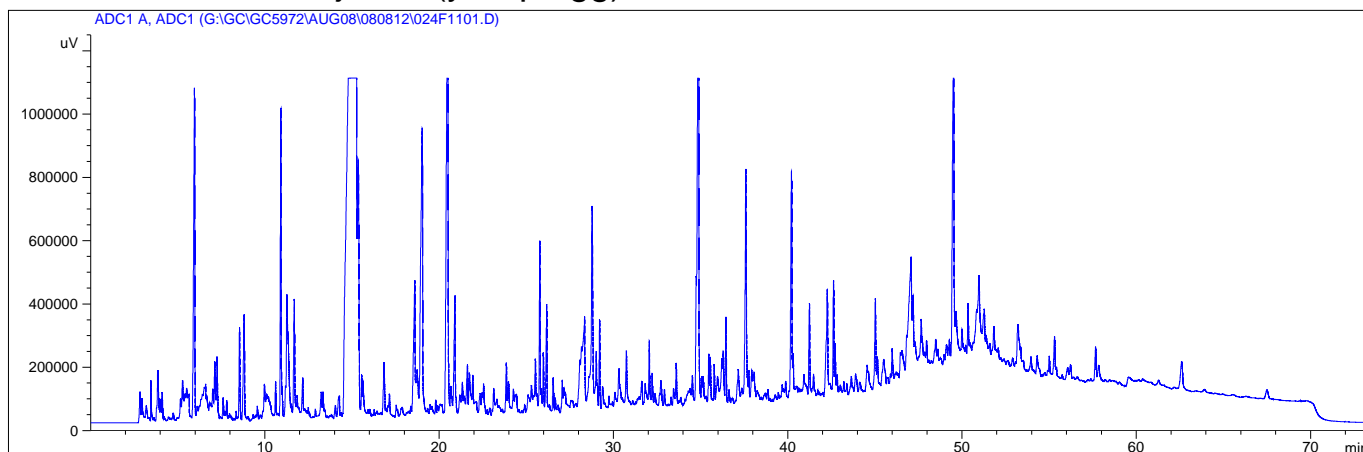
B; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 200 °C



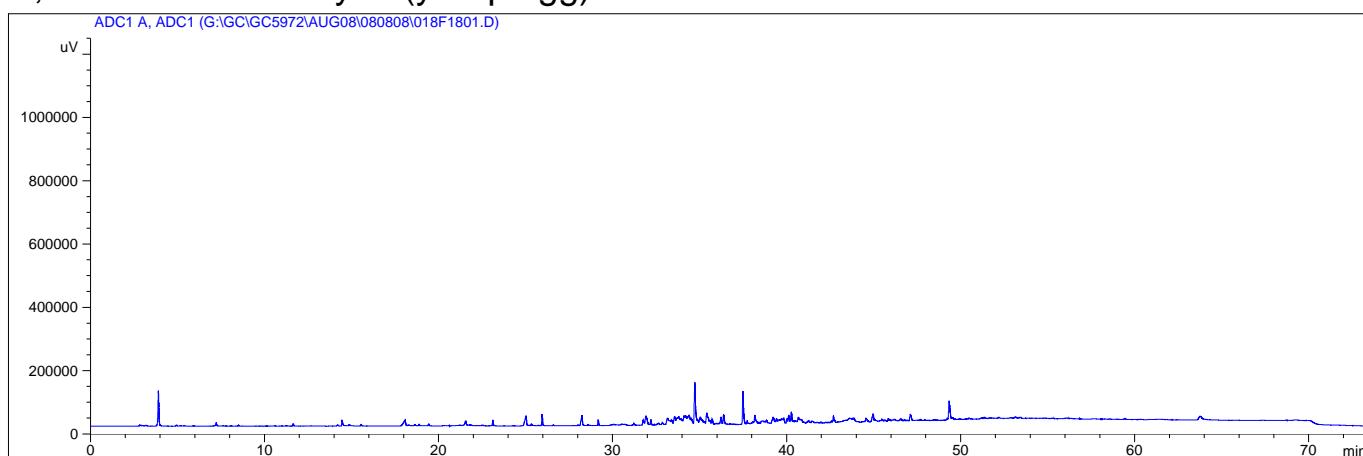
C; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 300 °C



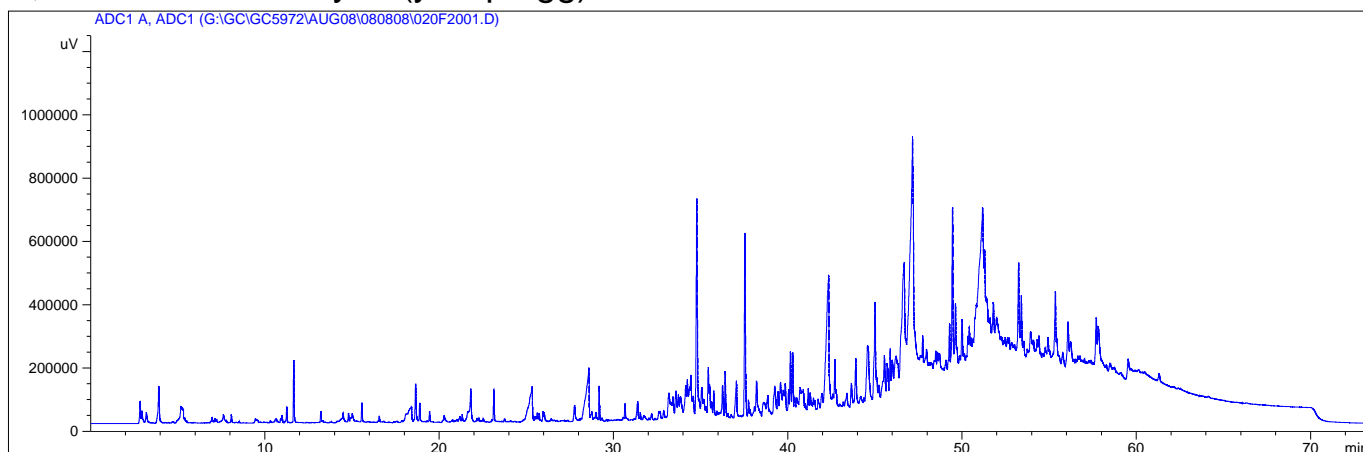
D; Använd otvättad jacka (ytterplagg) 400 °C



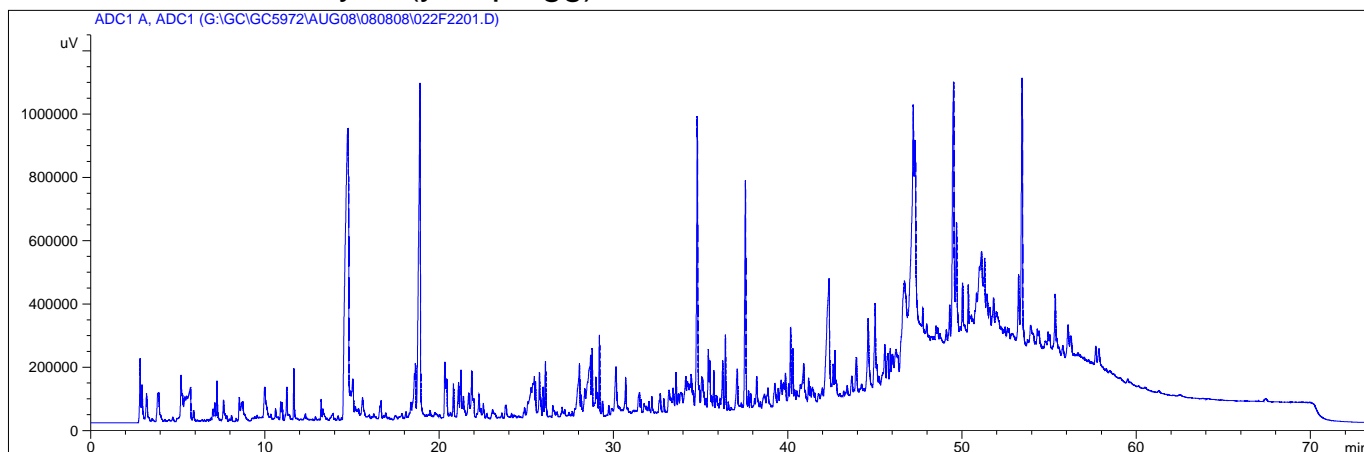
E; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 100 °C



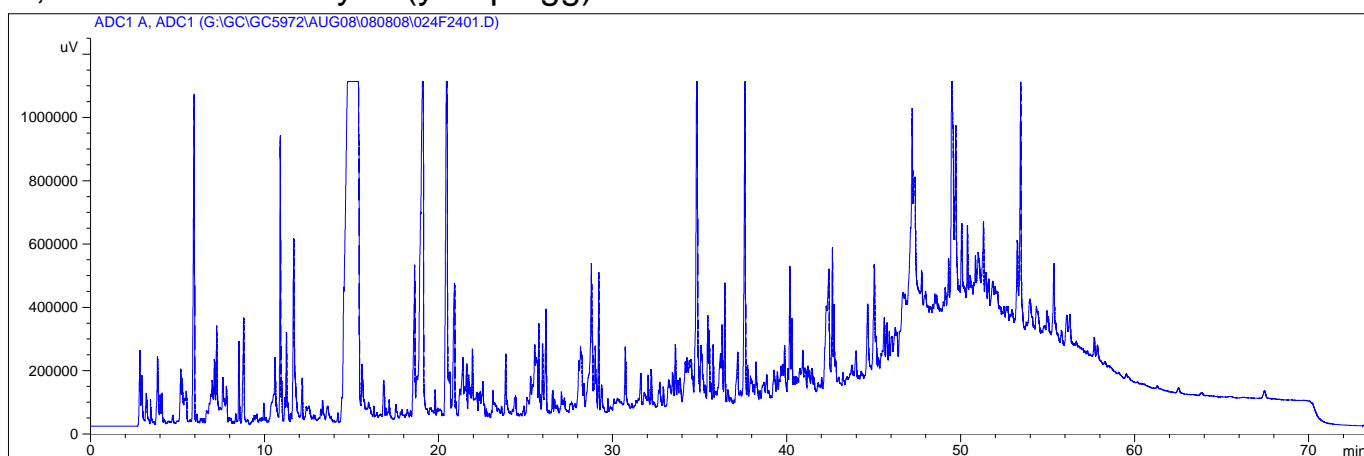
F; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 200 °C



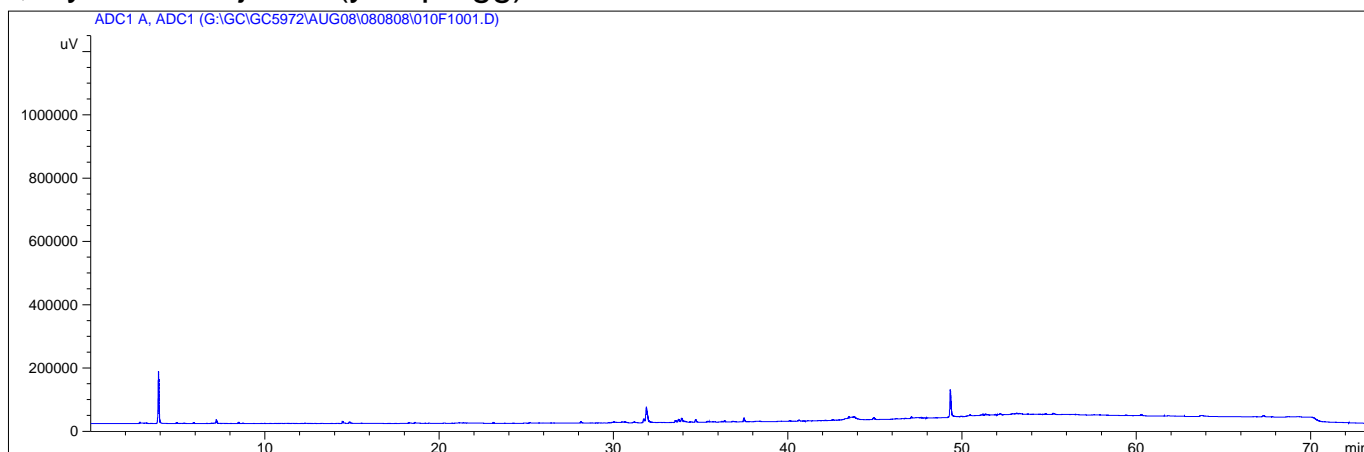
G; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 300 °C



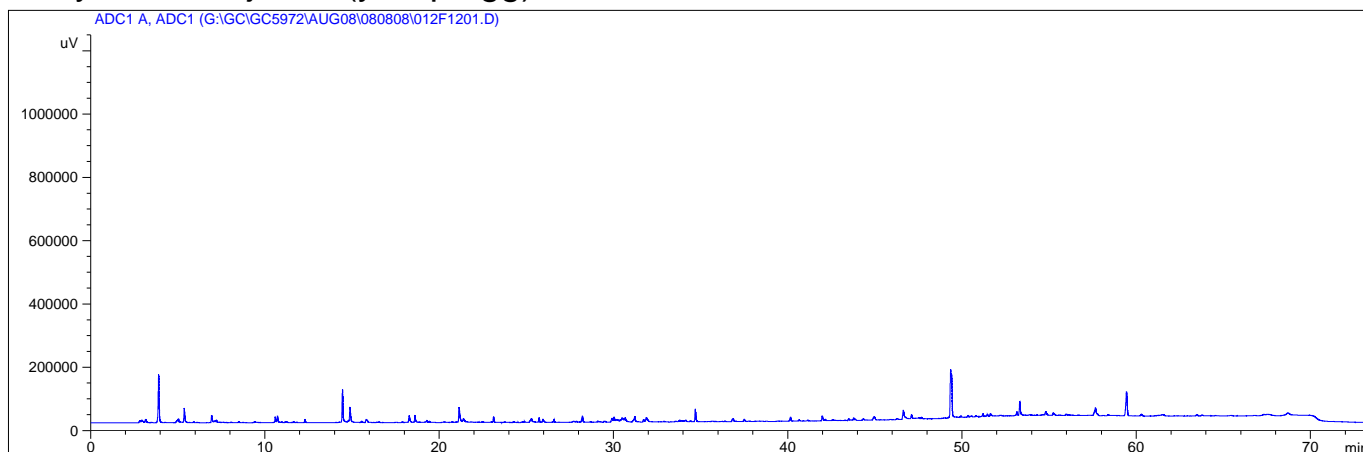
H; Använd tvättad byxa (ytterplagg) 400 °C



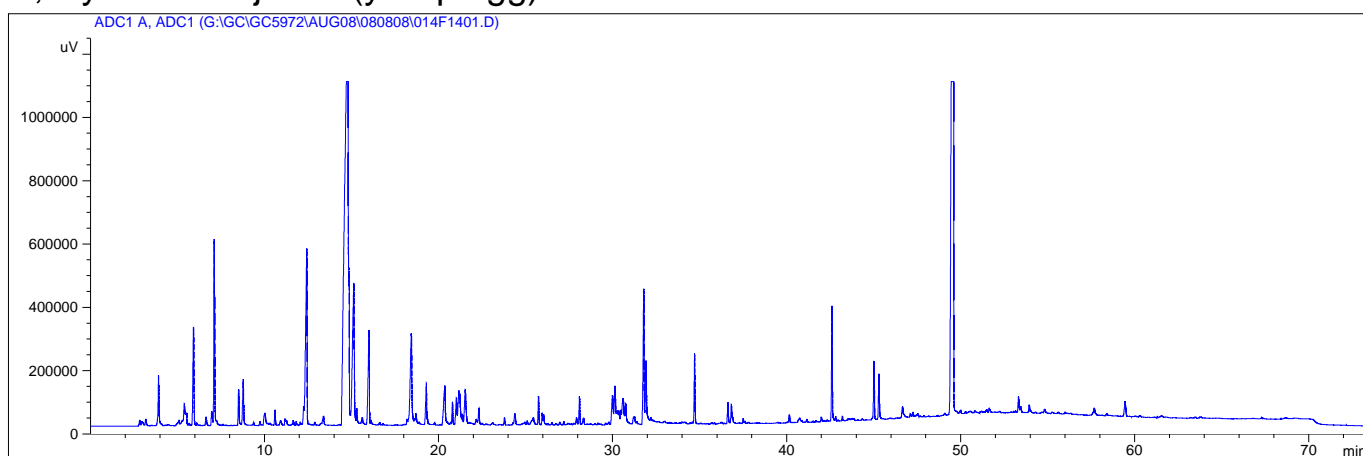
I; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 100 °C



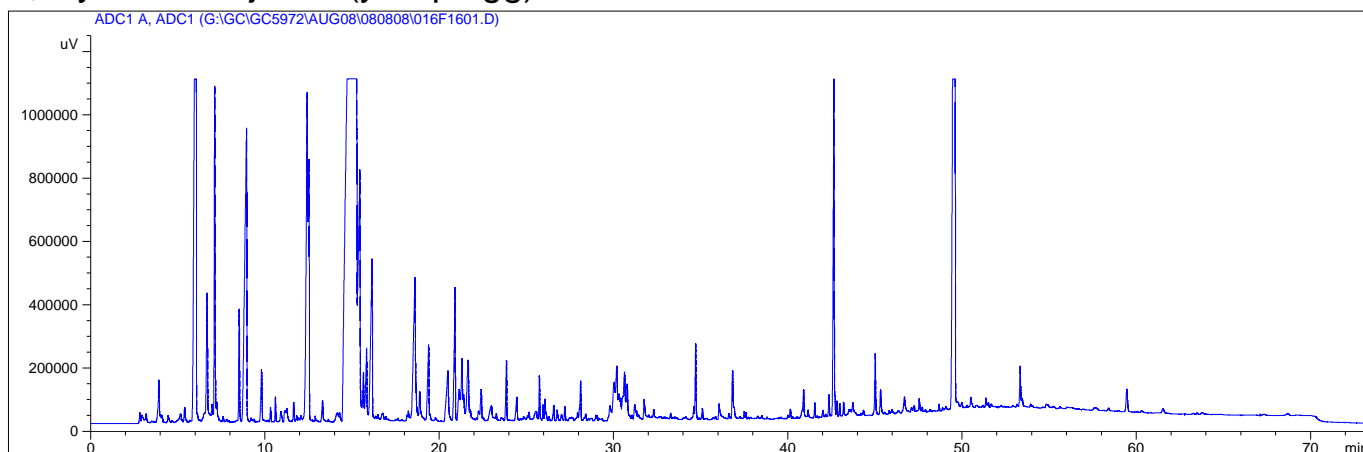
J; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 200 °C



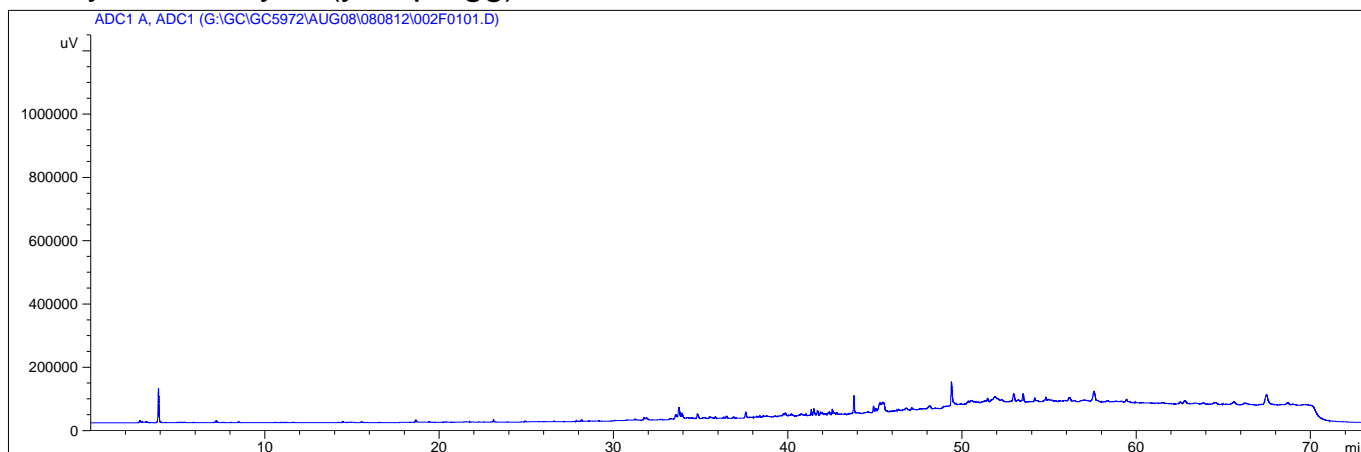
K; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 300 °C



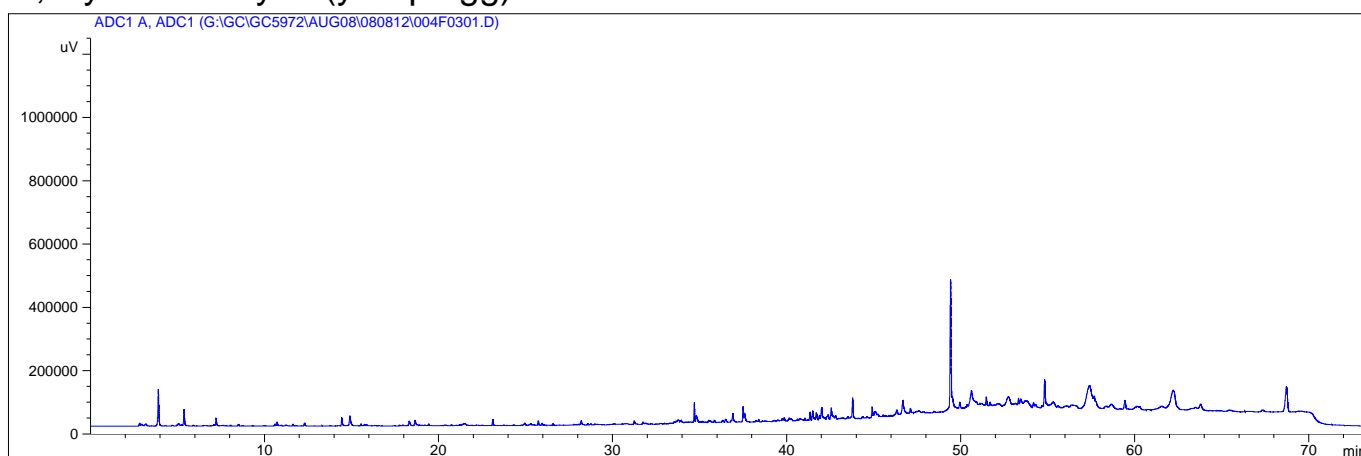
L; Ny otvättad jacka (ytterplagg) 400 °C



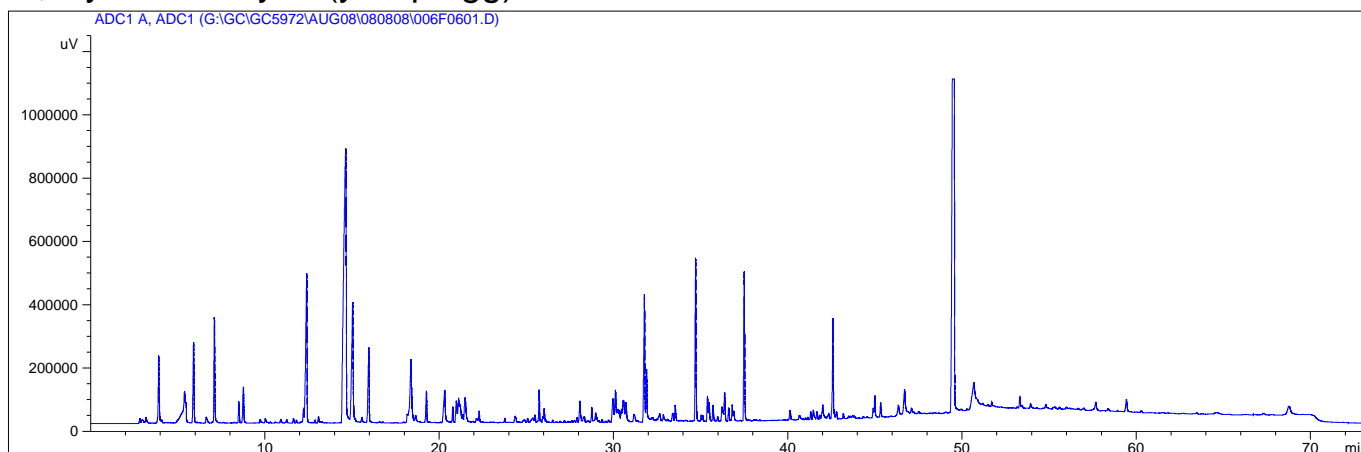
M; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 100 °C



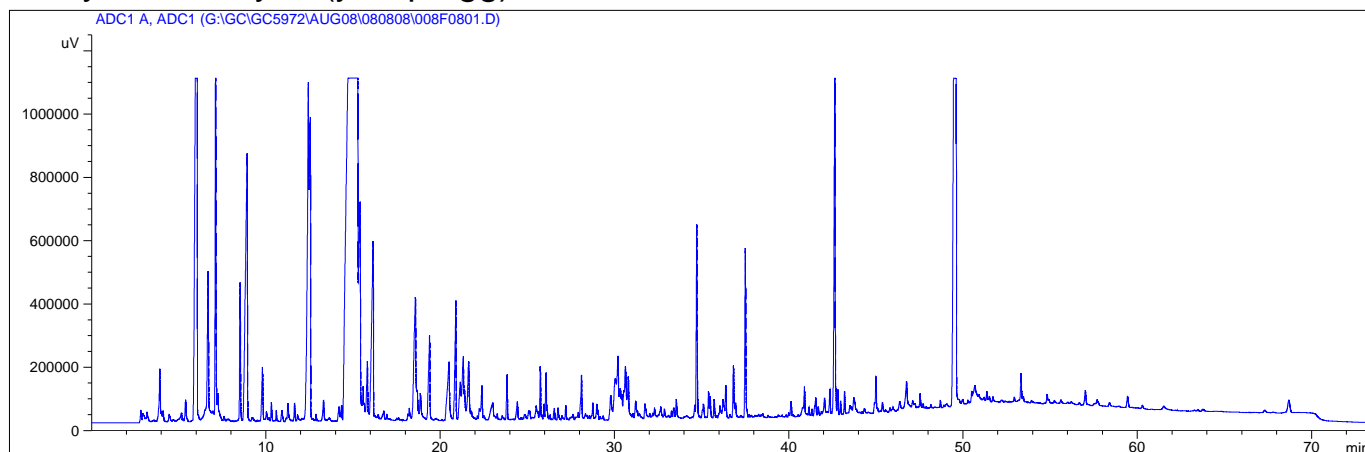
N; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 200 °C



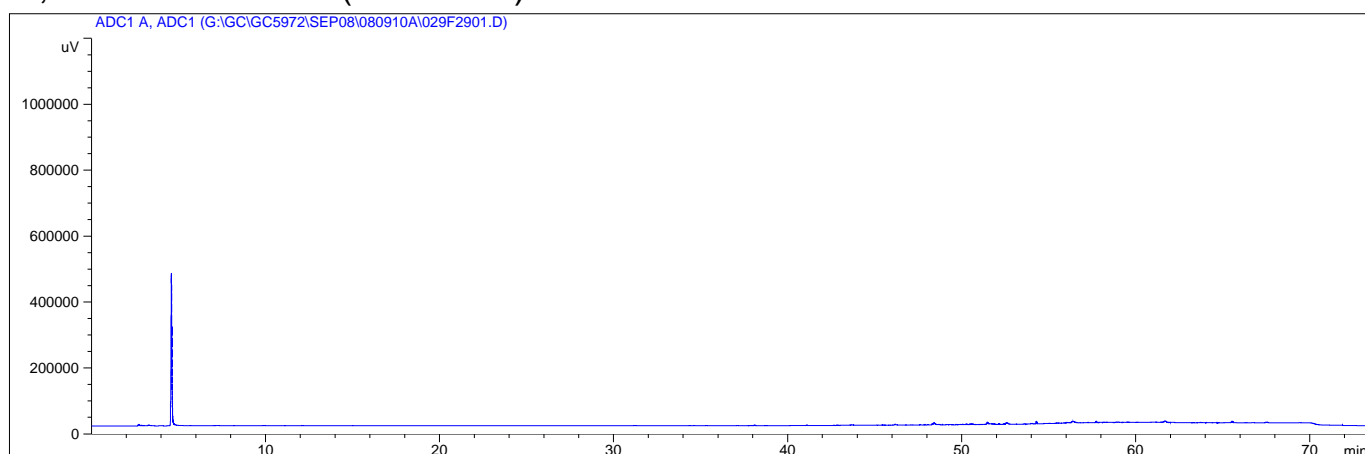
O; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 300 °C



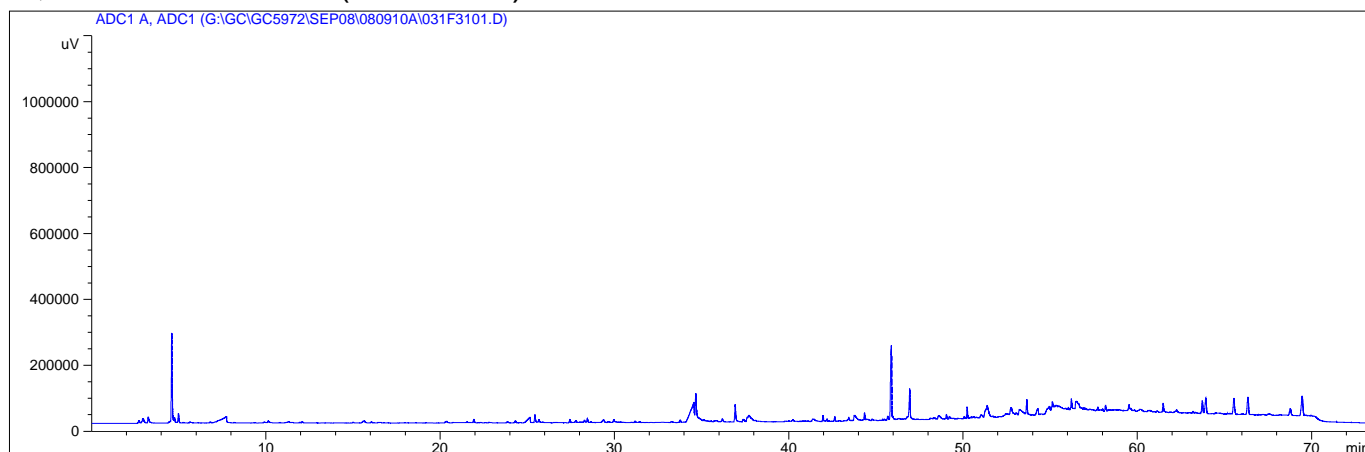
P; Ny tvättad byxa (ytterplagg) 400 °C



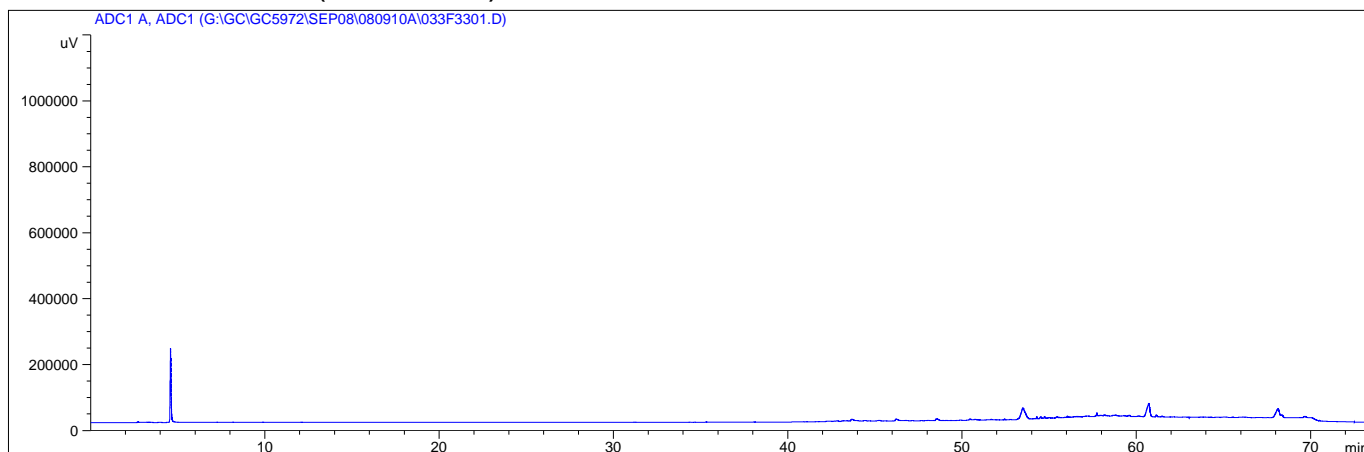
Q; Använd otvättad (underställ) 100 °C



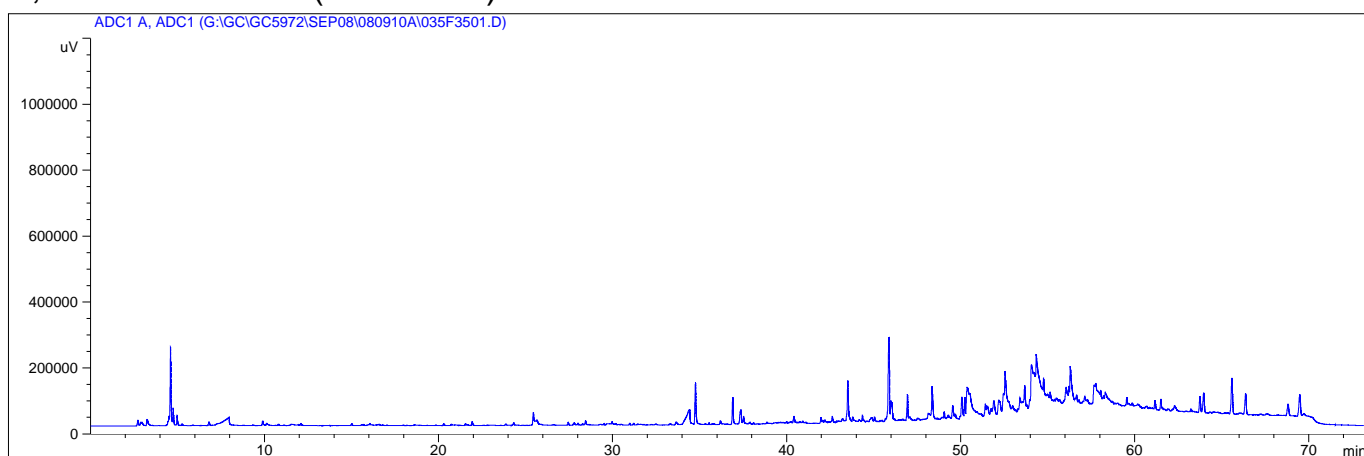
R; Använd otvättad (underställ) 200 °C



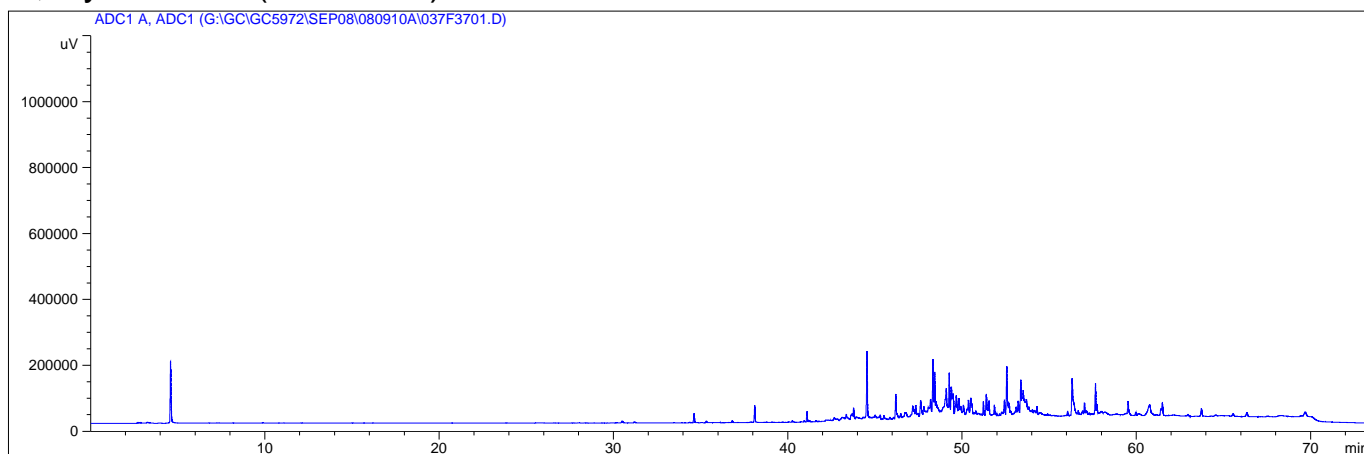
S; Använd tvättad (underställ) 100 °C



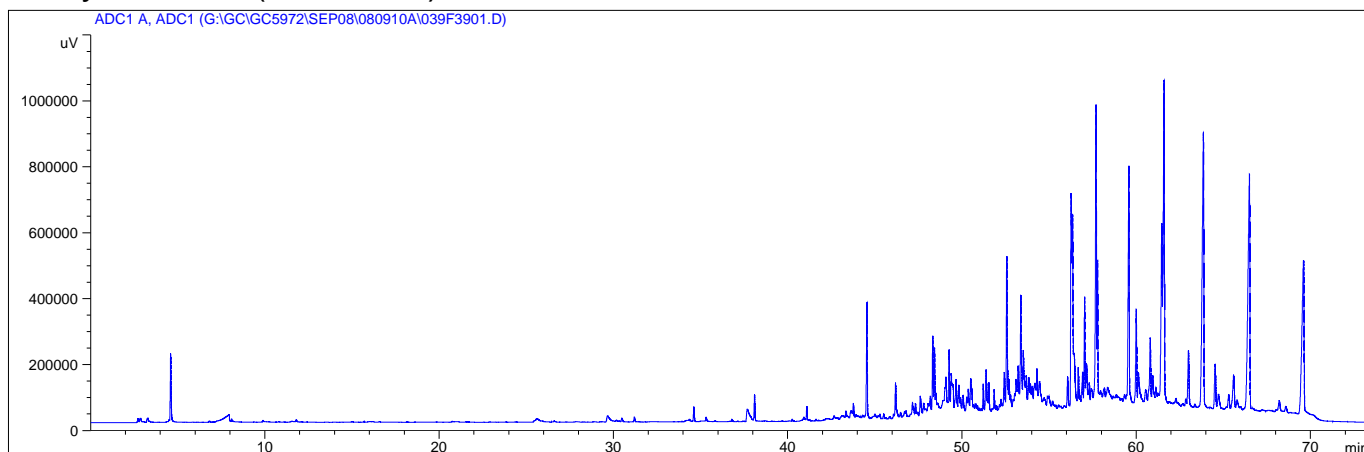
T; Använd tvättad (underställ) 200 °C



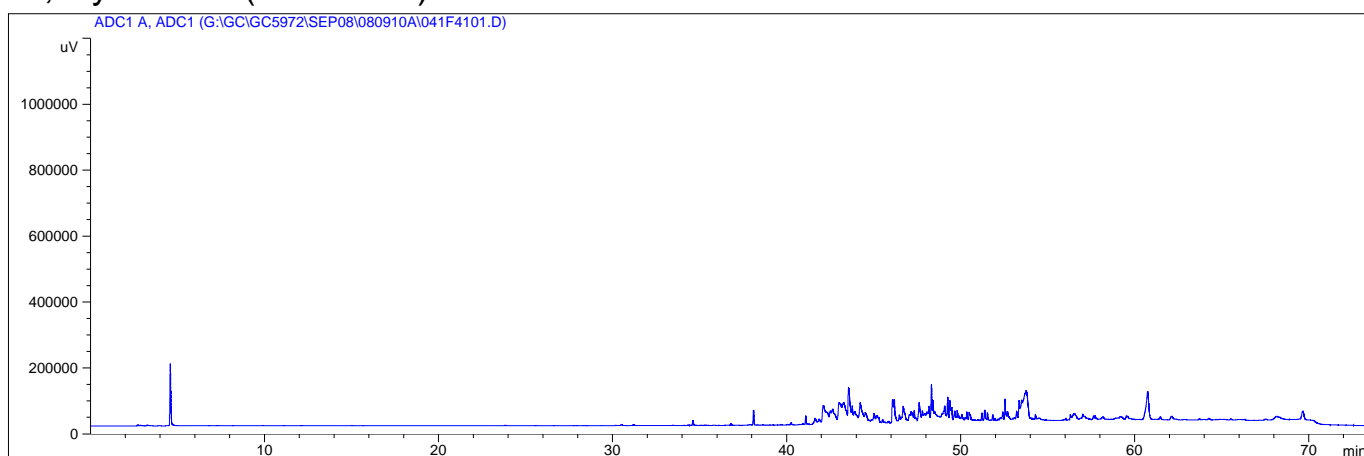
U; Ny otvättad (underställ) 100 °C



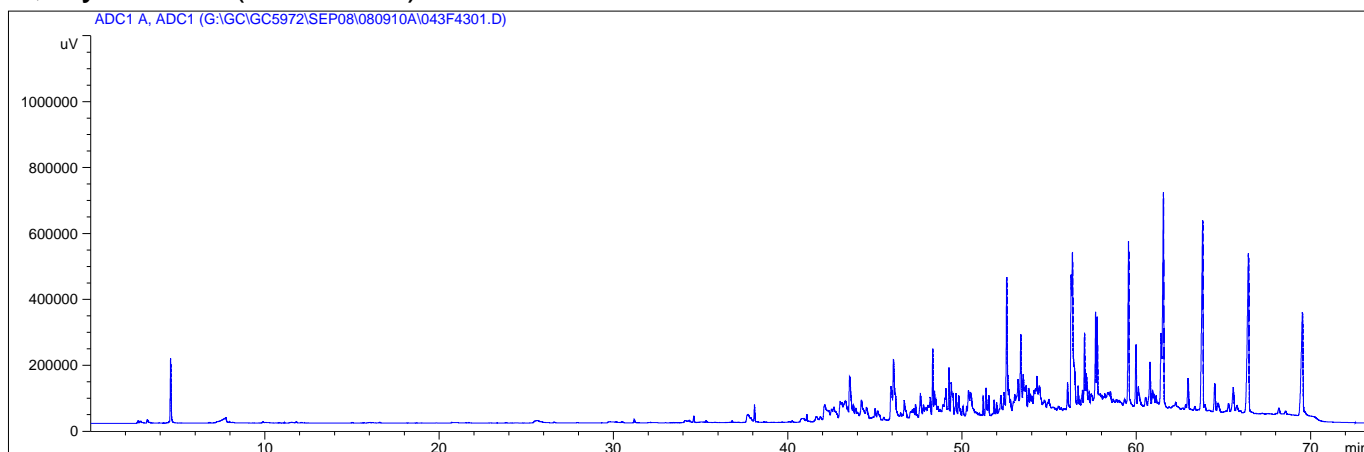
V; Ny otvättad (underställ) 200 °C



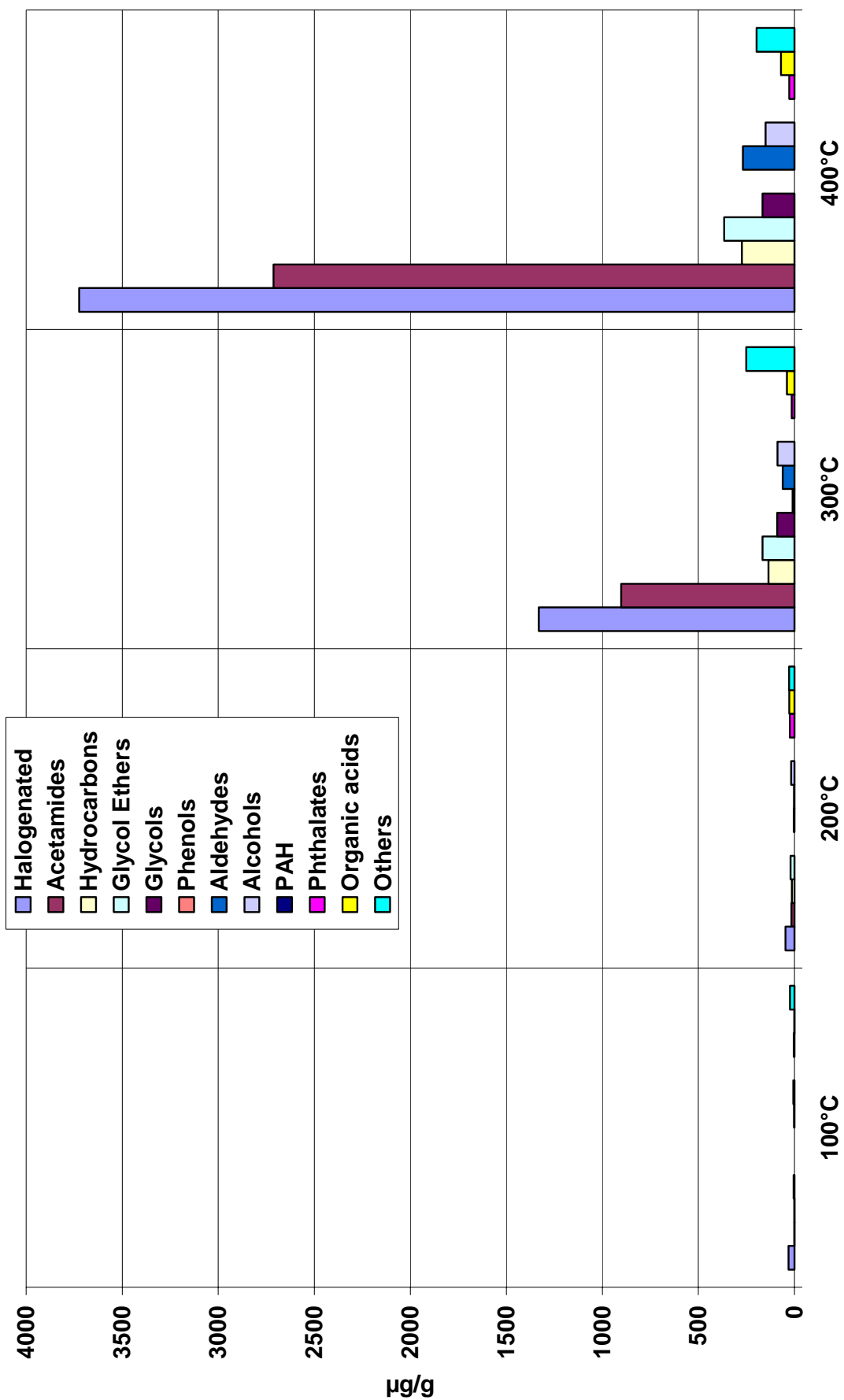
W; Ny tvättad (underställ) 100 °C



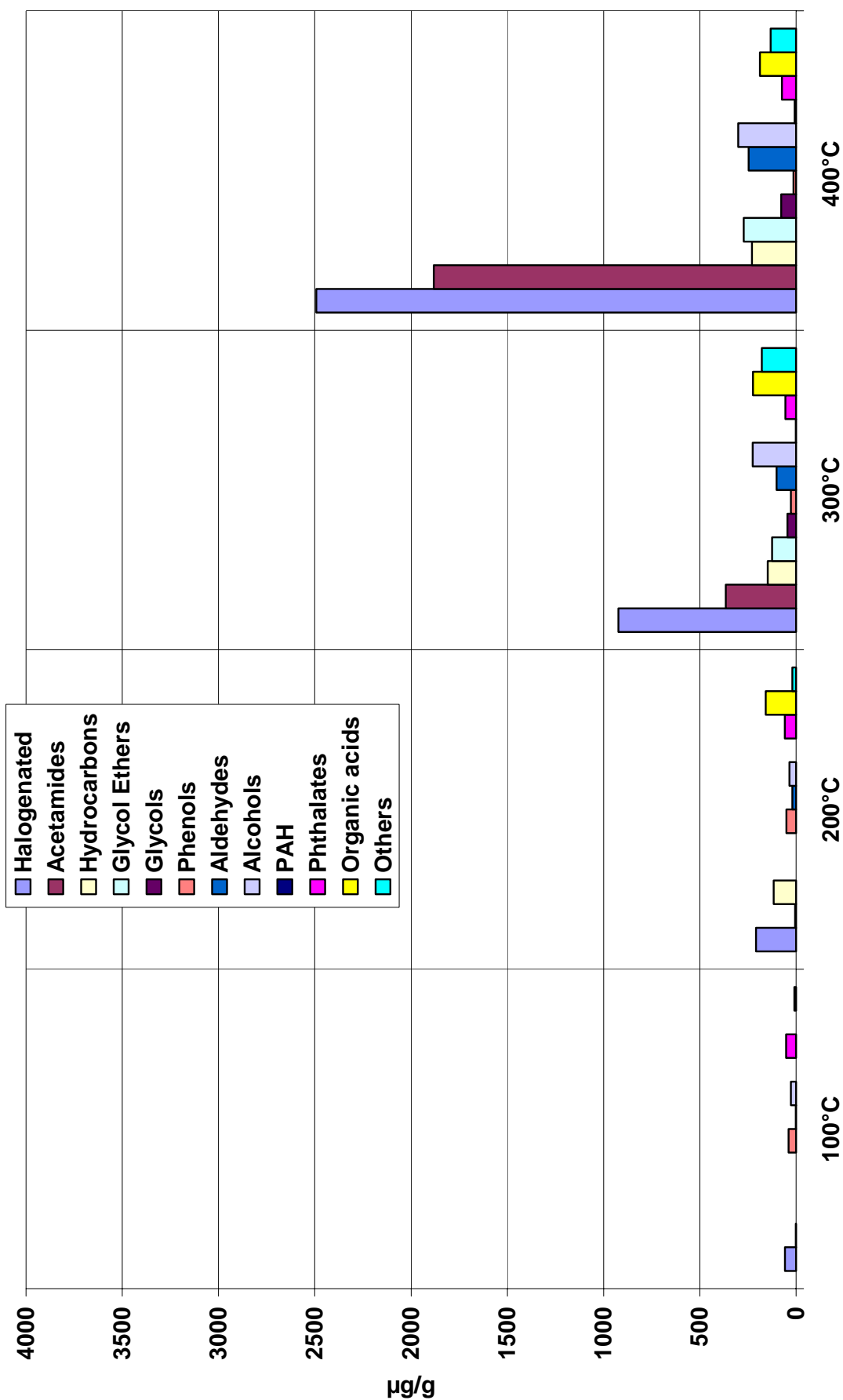
X; Ny tvättad (underställ) 200 °C



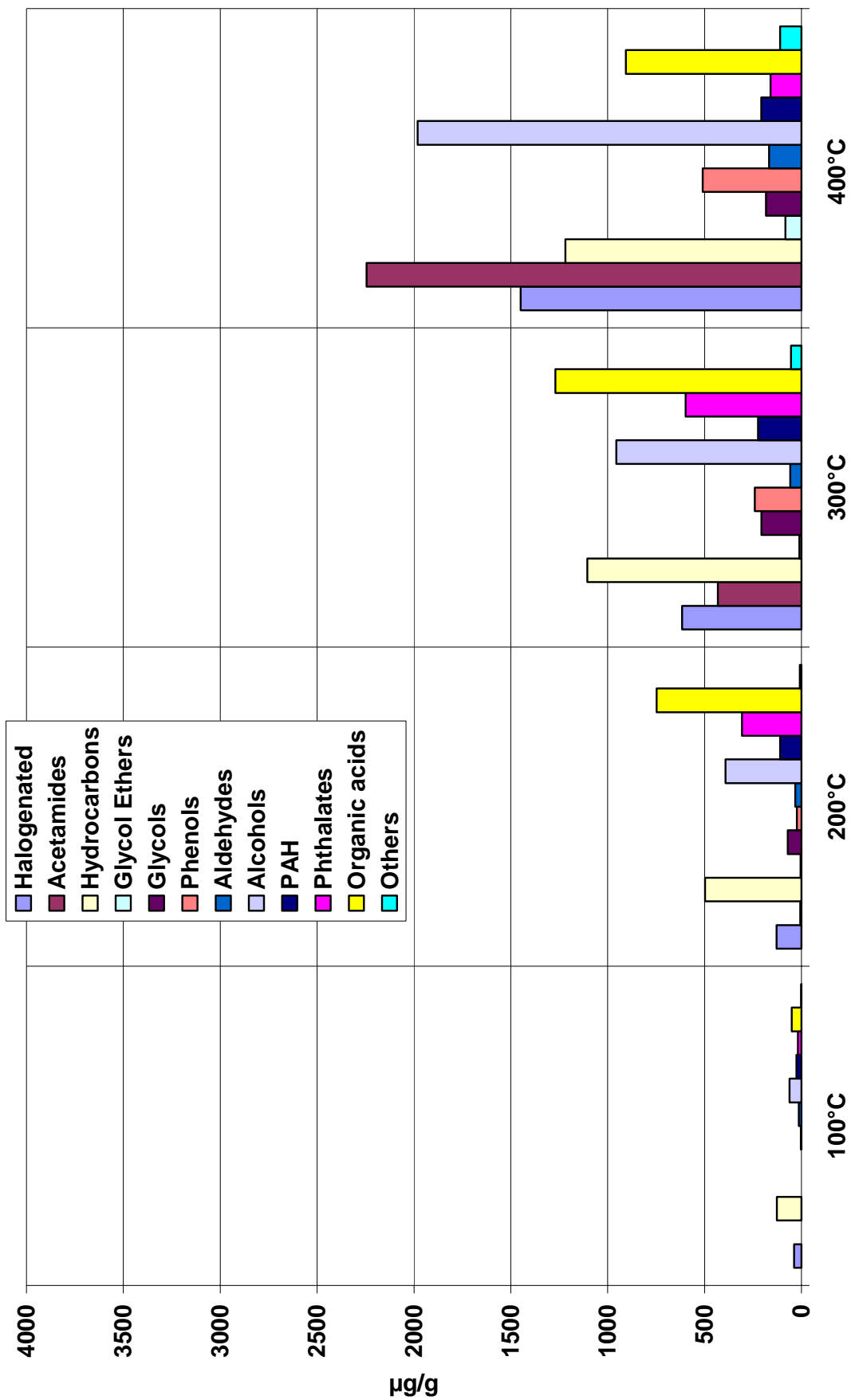
Bilaga 20; Ämnesgrupper för ytterplagg: ny otvättad



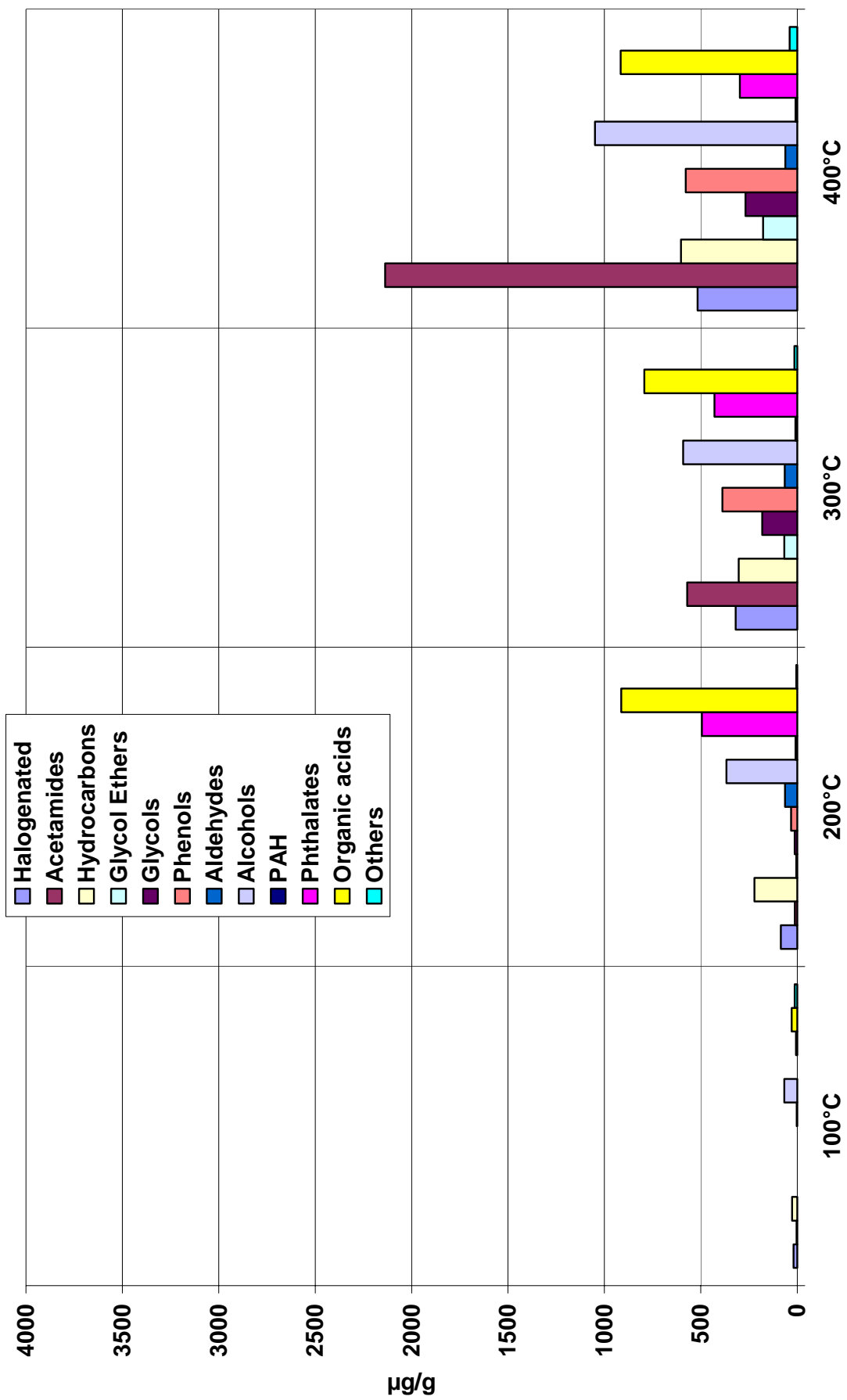
Bilaga 21; Ämnesgrupper för ytterplagg: ny tvättad



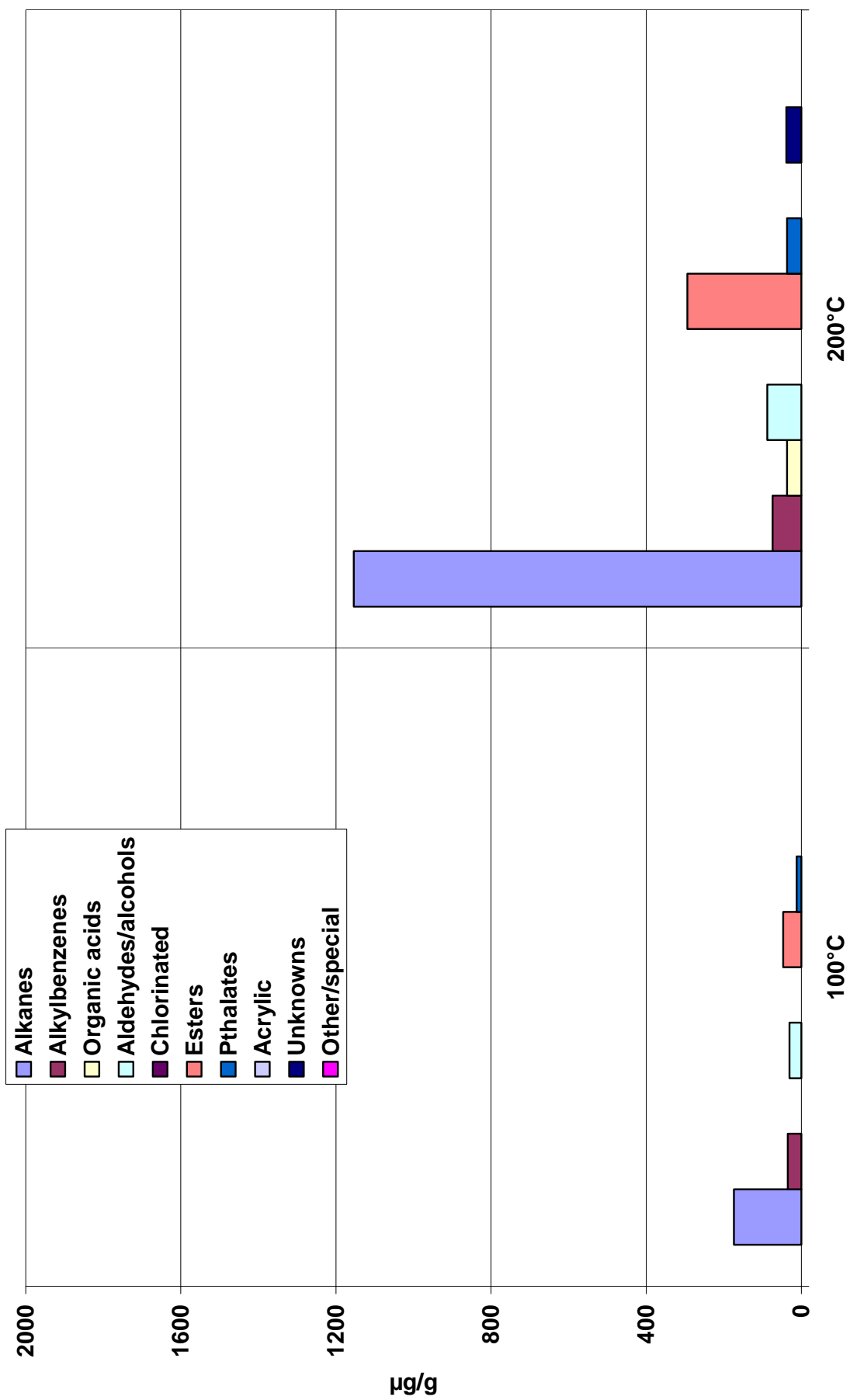
Bilaga 22; Ämnesgrupper för ytterplagg: använd otvättad



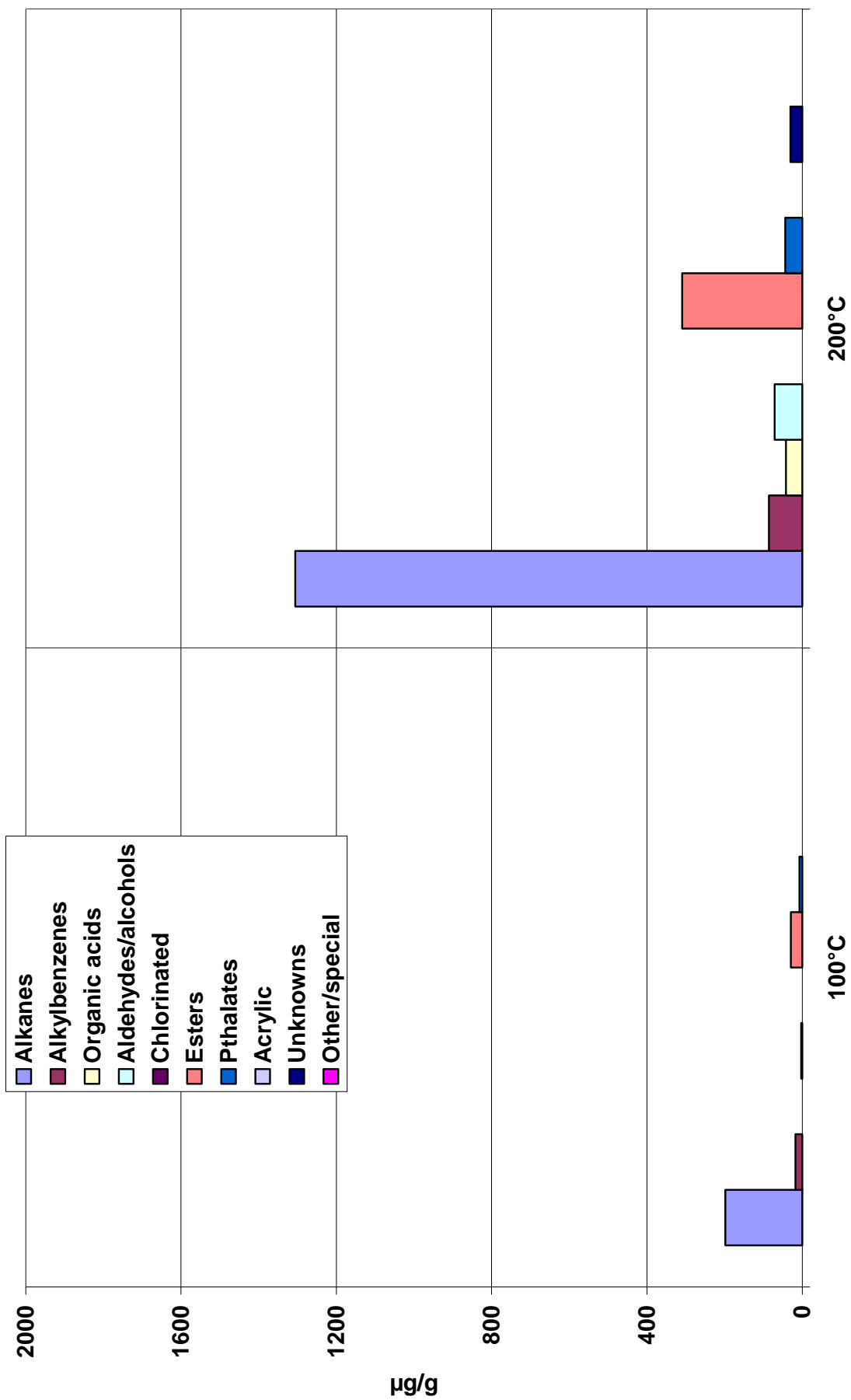
Bilaga 23; Ämnesgrupper för ytterplagg: använd tvättad



Bilaga 24; Ämnesgrupper för underställ: ny otvättad



Bilaga 25; Ämnesgrupper för underställ: ny tvättad



Bilaga 26; Ämnesgrupper för underställ: använd otvättad



Bilaga 27; Ämnesgrupper för underställ: använd tvättad

