

## Final remarks and conclusions

---

The previous chapters have described the different steps that we took in order to develop a new method for the semi-quantitative analysis and characterization of (environmental) particles by TW-EPMA.

First, we evaluated the need for such a new method by showing the different technological evolutions in electron microscopy. We saw that with the arrival of a new generation of energy-dispersive X-ray detectors, it became possible to determine light elements. Their ultra-thin polymer windows allow for a better transmission of low-energy X-rays, which made sure that at least qualitative analysis of elements with an atomic number  $Z > 5$  was possible. Since these light-element compounds are very abundant in environmental particles, the breakthrough in detector technology was also a big step forward for enhancing our knowledge about their composition. The use of a so-called cold stage for cooling down samples with liquid nitrogen to  $-193^{\circ}\text{C}$  also allowed us to analyze volatile species, for example ammonium and nitrate compounds, since we could considerably reduce the beam damage effects.

Soon the idea rose to investigate the possibility to develop a method for the quantification of both light and heavy elements contained in environmental particles. A recently developed Monte Carlo model for the simulation of electron-solid interactions at low energies was adapted for particulate samples by implementing the necessary features for taking into account particle geometry effects. The Monte Carlo model was integrated into an algorithm for the iterative quantification of particle compositions based on reverse simulations. While testing the quantification method using particle standards made of inorganic and organic salts, several directly or indirectly critical aspects were investigated in order to adapt the involved analytical procedures like the sample preparation (the quality of substrates and the use of coatings), the beam damage effects, the spectrum evaluation (peak identification and corrections for peak overlap) and the physical parameters used in the model. A comparison with other quantification methods showed that our method produced quite satisfying results, also considering the uncertainties and assumptions we had to deal with.

Then, we tried to go one step further by exploring several possibilities to get the most out of the obtained concentrations for light and heavier elements. For the characterization of environmental samples, huge datasets have to be dealt with in a fast, efficient and intelligent way to get a correct profile of the analyzed particles. Experiments with artificial particles showed that the calculation of light element concentrations by our iterative Monte Carlo quantification procedure indeed produced an added value for differentiating between different particle types when applying data reduction tools. These mathematical methods are able to reduce large datasets to smaller sets of specific characteristic parameters. The purely mathematical data treatment was then extended with an expert system for the elucidation of particle composition. The mental algorithms used to identify particle types were translated into an automatic procedure that could do the same job of the analyst in an unsupervised and computerized way. This method starts on the individual particle level and ends with the classification of similar particles into typical groups.

Two methods were developed and tested for the additional characterization of the internal particle composition. Grazing-Exit EPMA (GE-EPMA) could offer specific information about core-shell structured particles, but some disadvantages due to beam damage and the instrumental setup strongly limited the possibilities and made data interpretation quite difficult. Multiple-Voltage EPMA (MV-EPMA) appeared to have more potential, since particles are analyzed at different voltages to vary the information depth, so that layered particles could be qualitatively differentiated from homogeneous particles. The technique was also used to determine the surface layer thickness of artificial, heterogeneous particles, but

beam damage again played a disadvantageous role. It is clear that the application of GE-EPMA or MV-EPMA to real atmospheric particles will probably be limited to qualitative analysis due to the complexity involved in the analysis, since both their complex chemical composition and their structural heterogeneity cannot be known a priori. It was however shown that both techniques, in combination with light-element analysis, are able to extract information that could not be obtained before.

The developed and optimized method was also put into use by applying it in projects that required the characterization of different environmental samples. The semi-quantitative determination of light elements by TW-EPMA was applied to the analysis of North Sea aerosol particles, and it showed to be an efficient tool for the investigation of a huge number of individual microparticles. The method offered good statistics to study their chemical properties and their behavior in the atmosphere. The results of the collected aerosol samples showed that the light-element analysis of single particles gave additional useful chemical information to marine aerosol studies, compared to the conventional EPMA methods. The detection of characteristic X-ray radiation of low-Z elements, which was not possible before, offered the possibility to identify more compounds (e.g.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , organic particles), or it enabled the differentiation between particle types, like e.g.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  and sulphur-containing organic particles which previously only showed a sulphur peak in their X-ray spectra. The extended, semi-quantitative knowledge of low-Z element concentrations led to a more relevant particle classification; therefore, the possible sources and interactions occurring in the troposphere can be traced in much more detail by the analysis of large numbers of individual particles. Through the combination of chemical data with meteorological data, the environmental link was found between the chemical composition of the different samples and the environmental conditions during sampling.

TW-EPMA has already been applied in many projects for the characterization of different sample types from around the world, like atmospheric aerosols (Amazon region, Brazil; Lake Balaton, Hungary; North Sea; sugar cane plantation, Brazil; indoor and outdoor environments in residential areas, Flanders; indoor and outdoor environments near historical monuments all over Europe) and sediment particles (North Sea; Tisza river, Hungary). For this thesis, the method was compared to and combined with different complementary bulk techniques. As well in the abovementioned North Sea project, as in another project for the characterization of  $\text{PM}_{2.5}$  in Flanders, it was shown that TW-EPMA could offer new insights in the composition and (trans)formation of particulate matter in the atmosphere. The combination with ion chromatography showed that the matching of bulk and microanalytical results could lead to mutual benefits in aerosol characterization. TW-EPMA proved to be a valuable element in the multi-analytical approach of the  $\text{PM}_{2.5}$  study in Flanders.

Should the method from now on be used in every project about the characterization of environmental particles? No, because for some problems a qualitative approach is already enough or the knowledge about light elements is not necessary. For example, studies about the distribution of heavy metals in river sediments will probably not always require an exhaustive and time-consuming quantitative characterization of the light-element composition. The analyst will have to evaluate what is the scope of the projects and what are the capabilities of the available methods in order to choose the right level of characterization. TW-EPMA combined with our quantification method has proven to be a valuable tool for single particle analysis, with still some considerable potential for improvements in the future ... when better technology will again lead to new insights.

## Summary in Dutch

---

Deze thesis beschrijft de verschillende stappen die werden gezet in de ontwikkeling van een nieuwe methode voor de semi-kwantitatieve analyse en karakterisering van micropartikels met behulp van TW-EPMA (Thin-Window Electron Probe X-ray Microanalysis).

Verbeteringen in de technologie van energiedispersieve X-stralendetectors resulteerden in de mogelijkheid om ook lichte elementen met een atoomnummer  $5 < Z < 12$  te detecteren. Nieuwe ultradunne polymeervensters verbeterden de transmissie van X-stralen met lage energieën, waardoor minstens de kwalitatieve analyse van een groot bereik aan elementen mogelijk werd, inclusief de lichte elementen. Aangezien lichte elementen zoals koolstof, stikstof en zuurstof relatief veel voorkomen in deeltjes in het milieu (bv. stofdeeltjes in de lucht), bleek dit een belangrijke doorbraak. De combinatie van de nieuwe detectietechniek met de vernieuwde toepassing van een koelsysteem in de monsterkamer om de stalen af te koelen tot  $-193^{\circ}\text{C}$ , liet bovendien toe om de schade aan vluchtige verbindingen aanzienlijk te reduceren.

Om deze nieuwe mogelijkheden ten volle te benutten werd overgegaan op de ontwikkeling en optimalisatie van een methode voor de uitgebreide kwantificering van elementconcentraties in de geanalyseerde deeltjes. Hiervoor werd een recent, bestaand programma voor Monte-Carlosimulaties van de interacties tussen elektronen en vaste materie aangepast voor simulaties met typische deeltjesgeometrie. Het simulatiemodel werd geïntegreerd in een iteratief algoritme voor de bepaling van de deeltjesconcentraties van zowel lichte als zwaardere elementen. Bij het testen van de methode met standaarddeeltjes werden de effecten van verschillende kritische parameters nagegaan om de corresponderende analytische procedures te optimaliseren, zoals bijvoorbeeld de monstervoorbereiding (de kwaliteit van het substraat en het gebruik van coatings), de spectrumevaluatie (piekidentificatie en overlapcorrecties) en de fysische parameters achter het model. Een vergelijking met andere kwantificeringsmethodes toonde aan dat onze methode bevredigende resultaten produceerde, zeker als we in gedachte houden welke onzekerheden en aannames in het model zitten.

In een volgende stap werd besloten om de verkregen resultaten optimaal te benutten voor de karakterisering van milieumonsters waarbij grote datasets op een snelle, efficiënte en liefst intelligente wijze moeten worden verwerkt om tot een duidelijk profiel te komen voor de identificatie van de aanwezige deeltjes. Experimenten met standaarddeeltjes toonden aan dat de kwantificering door onze iteratieve Monte-Carloberekeningen wel degelijk bijdragen tot een verbeterde differentiatie tussen verschillende deeltjestypes bij de toepassing van datareductie, waarbij grote datasets worden verkleind tot kleinere sets van specifieke karakteristieke parameters. Deze louter wiskundige methodes werden uitgebreid met een expertsysteem voor het achterhalen van deeltjessamenstellingen. De algoritmes voor deeltjesidentificatie op basis van eenvoudige deductie, die normaal door de analist worden toegepast, werden geautomatiseerd om zonder veel tussenkomst door de computer te worden uitgevoerd. De methode start op het niveau van de individuele deeltjes en gaat door tot een classificatie en groepering van gelijkaardige deeltjestypes.

Daarnaast werden twee technieken getest voor de bijkomende karakterisering van de interne structuur en samenstelling van deeltjes. Grazing-Exit EPMA waarin de detectorgeometrie zodanig wordt ingesteld dat enkel de stralen van de deeltjes (of zelfs het bovenste gedeelte ervan) de detector bereiken. Hierbij ontstond de mogelijkheid om deeltjes met een gelaagde structuur te analyseren, maar door het ongunstige effect van bundelschade en de beperkte instrumentele mogelijkheden werd data-interpretatie zeer complex. Multiple-Voltage EPMA waarbij deeltjes op meerdere voltages worden geanalyseerd om de informatiediepte te

variëren, bleek dan over meer potentieel te beschikken. De techniek was in staat om homogene deeltjes kwalitatief te onderscheiden, maar ook om laagdiktes te bepalen van kunstmatig aangemaakte heterogene deeltjes, hoewel bundelschade opnieuw in ons nadeel speelde. Het is op dit moment realistisch om te zeggen GE-EPMA en MV-EPMA waarschijnlijk enkel beperkt blijven tot kwalitatieve analyses als gevolg van de complexiteit, aangezien zowel de complexe chemische samenstelling als de heterogeniteit van de structuur niet voorafgaand aan de analyse onbekend zijn. Desondanks werd aangetoond dat beide technieken in combinatie met TW-EPMA in staat zijn bijkomende informatie op te leveren.

De uitgewerkte en geoptimaliseerde methode voor de semi-kwantitatieve bepaling van lichte elementen door TW-EPMA werd uiteindelijk toegepast in verschillende projecten met betrekking tot de karakterisering van milieumonsters, zoals een project over Noordzee-aërosolen. Hierbij werd aangetoond dat de methode een efficiënt hulpmiddel is bij de analyse van grote aantallen individuele microdeeltjes om de chemische samenstelling en eventueel ondergane transformaties ervan te achterhalen. De verkregen informatie bleek hierbij wel degelijk een meerwaarde te hebben ten opzichte van de meer conventionele elektronenmicroscopie, aangezien het met de lichte-elementendetectie mogelijk werd om bijvoorbeeld  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  of organische verbindingen en omdat het toelaat te differentiëren tussen bijvoorbeeld  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  en zwavelhoudende organische verbindingen (die vroeger in beide gevallen enkel een zwavelpiek in hun spectra vertoonden). De bijkomende semi-kwantitatieve kennis van lichte elementen leidt tot meer relevante deeltjesclassificatie, waardoor de mogelijke bronnen en troposferische interacties beter worden herkend. Door de combinatie met meteorologische data kunnen de chemische samenstelling en hun condities in het milieu waar ze bemonsterd worden.

TW-EPMA werd ook nog op andere locaties en in verscheidene milieu's ingezet, zoals in de Amazoneregio en bij suikerrietplantages in Brazilië, aan het Balatonmeer en bij de Tiszarivier in Hongarije, in allerlei binnen- en buitenomgevingen in Vlaamse woonwijken of bij verschillende historische monumenten ter wereld. Voor deze thesis werd de methode tevens vergeleken en gecombineerd met bulkanalysemethodes, zoals in het Noordzeeproject, maar ook in een project over de karakterisering van  $\text{PM}_{2.5}$  in Vlaanderen. Hierbij werd aangetoond dat TW-EPMA een waardevolle bijdrage kan leveren in een multi-analytische aanpak, waarbij wederzijdse voordelen voor de data-interpretatie van zowel de bulkgegevens als de microanalytische resultaten.

Moet onze methode dan vanaf nu in elk project met betrekking tot deeltjeskarakterisering worden ingezet? Neen, aangezien voor sommige studies een kwalitatieve aanpak al voldoende is en de kennis van lichte elementen niet vereist is. Een goed voorbeeld is de analyse van de verspreiding van zware metalen in riviersedimenten, waarbij het niet altijd nodig is om een veel te uitgebreide en dus tijdsverspillende kwantitatieve karakterisering uit te voeren. De analist zal dus, zoals voorheen, in functie van de vraagstelling en van de mogelijkheden van de beschikbare analysemethodes, moeten beslissen welk niveau van karakterisering bereikt dient te worden. TW-EPMA in combinatie met onze Monte-Carlomethode heeft alleszins bewezen een waardevolle techniek te zijn voor de analyse van individuele deeltjes, met mogelijk nog een aanzienlijk verbeteringspotentieel in de toekomst wanneer betere technologie opnieuw tot nieuwe inzichten kan leiden.

## Contributions to scientific publications

---

de Hoog, J., J. Osán, A. Worobiec, C.-U. Ro, I. Szalóki, P. Joos and R. Van Grieken, *Optimisation of light element analysis of individual particles using UTW-EPMA*, J. Aeros. Sci., 31, S388-S389, 2000

Osán, J., C.-U. Ro, I. Szalóki, A. Worobiec, J. de Hoog, P. Joos and R. Van Grieken, *Methodology for light element analysis of individual aerosol particles using thin-window EPMA*, J. Aeros. Sci., 31, S765-S766, 2000

Worobiec, A., J. de Hoog, J. Osán, I. Szalóki, P. Joos and R. Van Grieken, *Unconventional microanalysis for low-Z, for volatile and organic aerosol compounds*, J. Aeros. Sci., 31, S384-S385, 2000

Bekshaev, A., J. de Hoog and R. Van Grieken, *Grazing-emission electron probe microanalysis of particles near the substrate edge*, Spectrochim. Acta B, 56, 2385-2395, 2001

Eyckmans, K., J. Zhang, J. de Hoog, P. Joos and R. Van Grieken, *Leaching of nutrients and trace metals from aerosol samples; a comparison between a re-circulation and an ultrasound system*, Intern. J. Environ. Anal. Chem., 80, 227-243, 2001

Osán, J., J. de Hoog, P. Van Espen, I. Szalóki, C.-U. Ro and R. Van Grieken, *Evaluation of energy-dispersive X-ray spectra of low-Z elements from electron probe microanalysis of individual particles*, X-ray Spectrom., 30, 419-426, 2001

Osán, J., J. de Hoog, A. Worobiec, C.-U. Ro, K.-Y. Oh, I. Szalóki and R. Van Grieken, *Application of chemometric methods for classification of atmospheric particles based on thin-window electron probe microanalysis data*, Anal. Chim. Acta, 446, 211-222, 2001

Ro, C.-U., K.-Y. Oh, H. Kim, Y. P. Kim, C. B. Lee, K.-H. Kim, C. H. Kang, J. Osán, J. de Hoog, A. Worobiec and R. Van Grieken, *Single-particle analysis of aerosols at Cheju Island, Korea, using low-Z electron probe X-ray microanalysis: a direct proof of nitrate formation from sea salts*, Environ. Sci. Technol., 35, 4487-4494, 2001

Ro, C.-U., K.-Y. Oh, J. Osán, J. de Hoog, A. Worobiec and R. Van Grieken, *Heterogeneity assesment in individual CaCO<sub>3</sub>-CaSO<sub>4</sub> particles using ultrathin-window electron probe X-ray microanalysis*, Anal. Chem., 73, 4574-4583, 2001

Ro, C.-U., K.-Y. Oh, H. Kim, Y. Chun, J. Osán, J. de Hoog and R. Van Grieken, *Chemical speciation of individual atmospheric particles using low-z electron probe X-ray microanalysis: characterizing "Asian dust" deposited with rainwater in Seoul, Korea*, Atmos. Environ., 35, 4995-5005, 2001

Szalóki, I., J. Osán, A. Worobiec, J. de Hoog and R. Van Grieken, *Optimization of measuring conditions of thin-window EPMA for light-element analysis of individual environmental particles*, X-ray Spectrom., 30, 143-155, 2001

Godoi, R.H.M., A.F.L. Godoi, S.J. Andrade, M. Santiago-Silva, J. de Hoog, A. Worobiec and R. Van Grieken, *Assessment of atmospheric particles emitted from sugar cane burning in Southeast Brazil*, *J. Aeros. Sci.*, 34, S749-S750, 2003

Ro, C.-U., J. Osán, I. Szalóki, J. de Hoog, A. Worobiec and R. Van Grieken, *A Monte Carlo program for quantitative electron-induced x-ray analysis of individual particles*, *Anal. Chem.*, 75, 851-859, 2003

Eyckmans, K., J. de Hoog, L. Van der Auwera and R. Van Grieken, *Speciation of aerosols by combining bulk ion chromatography and thin-window electron probe micro analysis*, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 83, 777-786, 2003

Worobiec, A., J. de Hoog, J. Osán, I. Szalóki, C.-U. Ro and R. Van Grieken, *Thermal stability of beam sensitive atmospheric aerosol particles in electron probe microanalysis at liquid nitrogen temperature*, *Spectrochim. Acta B*, 58, 479-496, 2003

Szalóki, I., J. Osán, C.-U. Ro, J. de Hoog and R. Van Grieken, *Speciation and surface analysis of single particles using electron-excited X-ray emission spectroscopy* IN R. Van Grieken, J. Injuk and K. Tsuji (Eds.), *X-Ray Spectrometry Based on Recent Technological Advances*, Wiley, Chichester, 2004

Godoi, R.H.M., A.F.L. Godoi, A. Worobiec, J. Andrade Sandro, J. de Hoog Johan, R. Santiago-Silva Mary and R. Van Grieken, *Characterisation of sugar cane combustion particles in the Araraquara region, Southeast Brazil*, *Mikrochim. Acta*, 145, 53-56, 2004

de Hoog, J., J. Osán, I. Szalóki, K. Eyckmans, A. Worobiec, C.-U. Ro, L. Van der Auwera and R. Van Grieken, *Thin window electron probe X-ray microanalysis of individual atmospheric particles above the North Sea*, *Atmos. Environ.*, in print, 2005

Ravindra, K., L. Bencs, E. Wauters, J. de Hoog, F. Deutsch, E. Roekens, N. Bleux, P. Berghmans and R. Van Grieken, *Seasonal variations in PAHs concentration in Flanders, Belgium and their relation with anthropogenic activities*, in preparation, 2005

de Hoog, J., L. Bencs, E. Wauters, R. Ravindra, E. Roekens, N. Bleux, P. Berghmans and R. Van Grieken, *PM<sub>2.5</sub> measurements at an urban location in Flanders, Belgium*, in preparation, 2005

## Contributions to scientific meetings

---

de Hoog, J., I. Szalóki, A. Worobiec, J. Osán, C.-U. Ro, P. Joos and R. Van Grieken, *Bepaling van lichte elementen in atmosferische deeltjes met 'Ultra-Thin Window' EPMA*, 5<sup>de</sup> Vlaams Jongerencongres van de Chemie (VJC-5), VUB, Brussels, Belgium, 2000 – POSTER

Worobiec, A., J. de Hoog, P. Joos and R. Van Grieken, *Bepaling van vluchtige organische aërosolcomponenten met niet-conventionele microanalytische technieken*, 5<sup>de</sup> Vlaams Jongerencongres van de Chemie (VJC-5), VUB, Brussels, Belgium, 2000 - PRESENTATION

Szalóki, I., J. Osán, A. Worobiec, J. de Hoog and R. Van Grieken, *Optimised measuring conditions of thin-window EPMA for light-element analysis of individual environmental particles*, European Conference on energy dispersive X-ray spectrometry (EDXRS-2000), Kraków, Poland, 2000 - PRESENTATION

Osán, J., J. de Hoog, I. Szalóki, C.-U. Ro, P. Van Espen and R. Van Grieken, *Evaluation of thin-window EPMA spectra of particles in the low-energy range*, European Conference on energy dispersive X-ray spectrometry (EDXRS-2000), Kraków, Poland, 2000 – POSTER

de Hoog, J., J. Osán, A. Worobiec, C.-U. Ro, I. Szalóki, P. Joos and R. Van Grieken, *Optimisation of light element analysis of individual particles using UTW-EPMA*, European Aerosol Conference (EAC-2000), Dublin, Ireland, 2000 – POSTER

Worobiec, A., J. de Hoog, J. Osán, I. Szalóki, P. Joos and R. Van Grieken, *Unconventional microanalysis for low-Z, volatile and organic aerosol compounds*, European Aerosol Conference (EAC-2000), Dublin, Ireland, 2000 – POSTER

Osán, J., C.-U. Ro, I. Szalóki, A. Worobiec, J. de Hoog, P. Joos and R. Van Grieken, *Methodology for light element analysis of individual aerosol particles using thin-window EPMA*, European Aerosol Conference (EAC-2000), Dublin, Ireland, 2000 – POSTER

Osán, J., J. de Hoog, A. Worobiec, C.-U. Ro, K.-Y. Oh, I. Szalóki and R. Van Grieken (2000), *Application of chemometric methods for classification of atmospheric particles based on thin-window EPMA data*, International Conference on Chemometrics in Analytical Chemistry (CAC-2000), Antwerp, Belgium, 2000 – POSTER

Eyckmans, K., J. de Hoog, F. Deutsch and R. Van Grieken, *Air-water exchange of nutrients and inorganic trace elements on the North Sea and over the French-Flemish North Sea coast*, Young Scientists' Day of Flemish Institute for the Sea (VLIZ), Bruges, Belgium, 2001 – POSTER

Worobiec, A., J. de Hoog, J. Osán, I. Szalóki, C.-U. Ro, K. Eyckmans and R. Van Grieken, *Atmospheric particles above the North Sea: new insights using recent technology*, Young Scientists' Day of Flemish Institute for the Sea (VLIZ), Bruges, Belgium, 2001 – POSTER

de Hoog, J., C.-U. Ro, J. Osán, I. Szalóki, A. Worobiec and R. Van Grieken (2001), *A Monte Carlo quantification procedure for individual particle analysis using TW-EPMA*, European Workshop on Modern Developments and Applications in Microbeam Analysis (EMAS-2001), Tampere, Finland, 2001 – POSTER, awarded with a poster prize

Worobiec, A., I. Szalóki, J. de Hoog, J. Osán, C.-U. Ro and R. Van Grieken (2001), *Analysis of individual atmospheric particle by thin window EPMA: optimisation of measuring conditions and applications*, European Workshop on Modern Developments and Applications in Microbeam Analysis (EMAS-2001), Tampere, Finland, 2001 – PRESENTATIE

Worobiec, A., J. de Hoog, I. Szalóki, J. Osán, C.-U. Ro and R. Van Grieken (2001), *Analysis of individual atmospheric particles by thin-window EPMA: optimisation of measuring conditions and applications*, Workshop for bilateral project BIL97/73 South Africa – Flanders “Physico-chemical characterization, source identification and transboundary transport of atmospheric aerosols over Southern Africa”, Antwerp, Belgium, 2001 - PRESENTATION

Bekshaev, A., J. de Hoog and R. Van Grieken (2001), *Near-edge grazing-emission electron probe microanalysis of particles*, Colloquium Spectroscopicum Internationale (CSI-2001), Pretoria, South-Africa, 2001 – POSTER

de Hoog, J., C.-U. Ro, J. Osán, I. Szalóki, A. Worobiec, K. Eyckmans and R. Van Grieken (2001), *Application of Thin-Window EPMA for the analysis of individual particles above the North Sea*, Colloquium Spectroscopicum Internationale (CSI-2001), Pretoria, South-Africa, 2001 – POSTER

Worobiec, A., J. Osán, I. Szalóki, J. de Hoog, Sz. Török and R. Van Grieken (2001), *Characterization of individual atmospheric aerosol particles over Lake Balaton, Hungary using Thin-Window EPMA*, Colloquium Spectroscopicum Internationale (CSI-2001), Pretoria, South-Africa, 2001 – POSTER, awarded with a poster prize

Van Grieken, R., J. de Hoog, A. Worobiec, C.-U. Ro, J. Osán and I. Szalóki (2001), *Speciation and surface analysis of individual micrometer particles using Thin-Window Dual-Energy EPXMA*, Denver X-Ray Conference (DXC-2001), Steamboat Springs, CO, USA, 2001 – POSTER, awarded with a poster prize

Ro, C.-U., [names of other authors in Korean], J. Osán, J. de Hoog and R. Van Grieken, *Application of low-Z EPMA for the analysis of individual urban particles collected in Seoul, ChunCheon and ChungJu*, The 88th Annual Meeting of the Korean Chemical Society, 2001 – POSTER

Van Grieken, R., J. de Hoog, A. Worobiec, C.-U. Ro, J. Osán and I. Szalóki (2001), *Characterization, chemical speciation and surface analysis of individual aerosol particles using electron microprobe analysis*, Symposium on Modern Chemical Analysis of Aerosols, Delft, The Netherlands, 2001 – PRESENTATION

Secretary and co-organizer of the 6th edition of the Flemish Chemistry Conference for Young Scientists - 6<sup>de</sup> Vlaams Jongerencongres van de Chemie (VJC-6), Student section the Royal Flemish Society for Chemistry (Jong-KVCV), Antwerp, Belgium, 2002

de Hoog, J., C.-U. Ro, J. Osán, I. Szalóki, A. Worobiec en R. Van Grieken, *Bepaling van lichte elementen in atmosferische deeltjes met 'Thin-Window' EPMA*, 6<sup>de</sup> Vlaams Jongerencongres van de Chemie (VJC-6), Antwerp, Belgium, 2002 – PRESENTATION

Van Grieken, R., K. Eyckmans and J. de Hoog; W. Baeyens, S. De Galan, M. De Gieter, N. Brion and M. Leermackers; T. Huybrechts, J. De Wulf and H. Van Langenhove; N. Roevros, V. Herzl, M. Loijens and R. Wollast; *Biogeochemistry of nutrients, metals and organic micropollutants to the North Sea*, DWTC symposium Duurzaam beheer van de Noordzee, Ostend, Belgium, 2002 – PRESENTATION

Szalóki, I., M. Braun, J. Injuk, M. Leermakers, B. Alföldy, H. L. Nguyen, Johan de Hoog, and R. Van Grieken (2002), *Reconstruction of metal pollution events in the catchment area of the Tisza river by means of sediment-analysis*, European Conference on Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDXRS-2002), Berlin, Germany, 2002 – POSTER

Van Grieken, R., J. de Hoog, R. Godoi, J. Osan, C.-U. Ro, I. Szaloki, and A. Worobiec (2002), *Quantitative speciation and surface analysis of individual microparticles by Thin-Window triple-energy EPXMA: methodology and environmental applications*, European Conference on Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDXRS-2002), Berlin, Germany, 2002 – PRESENTATION

Szalóki, I., J. Osán, J. de Hoog, C.-U. Ro, J. Injuk, K. Tsuji, A. Worobie and R. Van Grieken, *Reverse Monte Carlo approach in Thin-Window EPMA for particle analysis in environmental and cultural heritage research*, Satellite Meeting on X-ray Archaeometry, Osaka, Japan, 2002 - PRESENTATION

Van Grieken, R., J. de Hoog, R. Godoi, J. Osán, C.-U. Ro, I. Szalóki and A. Worobiec, *Quantitative speciation and surface analysis of individual environmental particles by Thin-Window Variable Energy EPXMA*, VIIIth Latin American Seminar on X-ray Analysis techniques (SARX), Nova Friburgo, Brazil, 2002 - PRESENTATION

Worobiec, A., R.H.M. Godoi, T.N. Hatlane, J. de Hoog, G. Djolov and R. Van Grieken, *Characterisation of atmospheric aerosols in South Africa using the conventional and thin window EPMA*, European Workshop on Modern Developments and Applications in Microbeam Analysis (EMAS-2003), Cádiz, Spain, 2003 - POSTER

de Hoog, J., R. Godoi, A. Worobiec and R. Van Grieken, *Evaluation of electron probe X-ray microanalysis of single particles collected on TEM grids*, European Workshop on Modern Developments and Applications in Microbeam Analysis (EMAS-2003), Cádiz, Spain, 2003 - POSTER

Godoi, R.H.M., A.F.L. Godoi, S.J. Andrade, M. Santiago-Silva, J. de Hoog, A. Worobiec and R. Van Grieken, *Assessment of atmospheric particles emitted from sugar cane burning at southeast of Brazil*, European Aerosol Conference (EAC-2003), Madrid, Spain, 2003 - POSTER

Berghmans, P., N. Bleux, E. Roekens, J. de Hoog, L. Bencs and R. Van Grieken, *A preliminary apportionment of the sources of ambient PM<sub>2.5</sub> in Flanders, Belgium*, European Aerosol Conference (EAC-2003), Madrid, Spain, 2003 - POSTER

## Contributions to scientific reports

---

R. Van Grieken, R. Nullens, J. de Hoog, I. Szalóki and A. Worobiec, *Chemische karakterisatie van Noordzee-sedimenten op het niveau van individuele deeltjes*, Rijksinstituut voor Kust en Zee, 's-Gravenhage, The Netherlands, 2000

R. Van Grieken, J. de Hoog, M. Stranger, F. Deutsch, A. Worobiec, J. Injuk, L. Samek, V. Kontozova, A. Kaplinsky and P. Joos, *Chemische karakterisatie van aërosolen*, Vlaamse Milieumaatschappij, Flanders, 2000-2001

R. Van Grieken, J. de Hoog, H. Winkler, P. Berghmans and G. Djolov, *Project BIL99/57 - Soot and other atmospheric aerosols that affect human health and the global climate: the situation in South Africa as compared to Flanders*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Departement Wetenschap, Innovatie en Media Administratie Wetenschap en Innovatie - Afdeling Wetenschappen, Flanders, 2002-2003

R. Van Grieken, J. de Hoog, I. Szalóki, W. Baeyens and Sz. Török, *Project BIL00/76 - Study of transport and deposition fluxes of heavy metals in the Tisza river after the recent massive pollution event*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Departement Wetenschap, Innovatie en Media Administratie Wetenschap en Innovatie - Afdeling Wetenschappen, Flanders, 2000-2003

R. Van Grieken, K. Eyckmans, J. de Hoog, W. Baeyens, S. De Galan, M. De Gieter, N. Brion, M. Leermaekers, T. Huybrechts, J. De Wulf, H. Van Langenhove, N. Roevros, V. Herzl, M. Loijens and R. Wollast, *Duurzaam beheer van de Noordzee – Biogeochemistry of nutrients, metals and organic micropollutants to the North Sea / Lucht-zee uitwisseling van nutriënten, sporenmetalen en organische micropolluenten in de Noordzee*, DWTC, Belgium, 2002

M. Stranger, L. Bencs, J. de Hoog, E. Vandervaeren, A. Vellinga, J. Weyler and R. Van Grieken, *Methodologie ter inschatting van de impact van PM2.5 en gassen tot de ontwikkeling van astma en allergie bij jonge volwassenen*, AWI, Flanders, 2001-2003

R. Van Grieken, J. de Hoog, L. Bencs, Z. Spolnik, F. Deutsch, R. Khaiwal, M. Stranger, P. Berghmans and P. Bleux, *Metingen van PM2.5 in Vlaanderen (2001-2003)*, Vlaamse Milieumaatschappij, Flanders, 2001-2003

Lector of four chapters in the periodic status report about the environment and nature in Flanders, *Milieu- en Natuurrapport MIRA-T 2004*, Vlaamse Milieumaatschappij, Flanders, 2004