



Göteborgs universitet

Naturvetenskaplig problemlösning

28 maj 2001

PM₁₀ - sot

- ett regressionstest för partiklar
mindre än $10\mu m$.

Pia Aspegren
Annika Berntsson
Peter Davidsson
Maria Ohlson

Handledare:
Bertil Dynefors GU
Karin Persson IVL
Sture Holm GU
Joachim Johansson GU

Sammanfattning

EU ger alla länder inom unionen direktiv för PM_{10} som ska vara uppfyllt senast år 2010. Partikelhalten mäts och kartläggs därför i flera av landets kommuner. De sotmätningar som har pågått sedan 60-talet visar en nedåtgående trend av partikelförekomst i luft. Då båda typer av partiklar är mindre än $10\mu m$ finns anledning att söka ett samband dem emellan. Ett sambandstest har gjorts på de tio kommuner inom det så kallade Urbanmätnätet [5] där mätningar har skett parallellt av sot och PM_{10} från oktober till mars under vinterhalvåret 00/01. Syftet var att finna en regressionskoefficient dem emellan. Det eventuella sambandet skulle kunna användas för trendanalys att uppskatta halter av PM_{10} bakåt i tiden och leda till att sotmätningar kan ersättas med mätningar av PM_{10} . Den statistiska undersökningsmetodiken med Tukeytest för obalanserade problem gav en gruppindelning där varje grupp innehöll de mätplatser vars mätvärden ansågs lika på signifikansnivå 0,95. Testet visar att mätvärdena för de 10 undersökta städerna kan delas in i 5 grupper och att det inte finns något gemensamt samband för hela landet, men däremot uppvisas tecken till regionala samband.

Abstract

EU hands Sweden directives to accomplish Environmental air quality guidelines for PM_{10} by the year 2010. Particle concentrations is therefore measured in several of the communities in Sweden. The black smoke measurements that have been undergoing since the sixties show decreasing trend of particle occurrence in the air. Since both types of particles are less than $10\mu m$ there is reason to seek a correlation between them. An associative test has been done on the 10 communities within the Swedish Urban network where measurements have been performed parallel from October till March during the Winter 00/01. The aim was to find a regressive coefficient between PM_{10} and sot. The possible connection could be used for trend studies for PM_{10} and hence could the black smoke measurements be replaced by measurements of PM_{10} . The statistical method for examination with the Tukey test for unbalanced problems rendered a grouping in which each group contained the sites where data was considered too be equal at a significance level of 0.95. The test shows that the readings for the 10 examined cities could be divided into 5 groups and that there was no common denominator for the whole country.

Innehåll

1	Inledning	3
2	Fysikalisk beskrivning av partiklar	4
3	Mätplatser	5
4	Mätapparatur	6
5	Undersökningsmetodik för regressionskoefficient	7
6	Resultat	10
7	Slutsats och diskussion	11

1 Inledning

Riksdagen har fattat ett beslut om att "luften ska vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärlden inte skadas"[1], vilket betyder att halterna av luftföroreningar inte får överskrida fastställda lågrisknivåer för cancer, överkänslighet och allergi eller sjukdomar i luftvägarna.

Som en följd av Sveriges inträde i EU finns sedan den 1 januari 1999 en förordning om luftkvalitetsdirektiv som ska uppnås. Inom EU finns ett direktiv på att halten av PM_{10} (Particulate Matter $< 10\mu m$) på $50\mu g/m^3$ per dygn får överstigas högst 35 gånger per år och det ska vara uppfyllt senast 2005. Från år 2010 får denna halt endast överskridas 7 dygn per år. Sverige har i dagsläget en föreslagen Miljökvalitetsnorm för PM_{10} på $30\mu g/m^3$ per dygn, som inte får överskridas mer än 7 gånger per år. På grund av att miljökvalitetsnormer införs sker troligtvis en övergång från att mäta sot till mätningar av PM_{10} och eventuellt partiklar av mindre fraktioner så som $PM_{2,5}$ och PM_1 .

I Sverige drivs sedan 1986 URBAN-projektet i vilket ett 40-tal kommuner ingår. Projektet har till uppgift att mäta luftkvalitet i tätorter och är ett samarbete mellan kommunernas Miljö- och Hälsoskyddskontor och IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Inom URBAN-projektet finns kontinuerliga mätvärden för sot sedan mitten av 80-talet [5] och luftkvaliteten har förbättrats sedan mätningarna påbörjades. Det finns dokumenterade sotmätningar sedan 60-talet som visar på en klart nedåtgående trend. För att ta tillvara på de långa mätserierna och också få underlag till vidare studier har de kommuner som ingår i URBAN-projektet erbjudits att parallellt mäta sot och PM_{10} under vinterhalvåret 00/01. Erbjudandet har antagits av följande tretton kommuner; Burlöv, Tidaholm, Tranås, Katrineholm, Karlskoga, Sala, Uppsala, Sandviken, Timrå, Östersund, Örnsköldsvik, Boden och Övertorneå.

Viss forskning om aerosolpartiklar menar att samband mellan sot och PM_{10} inte bör finnas då skillnaden i partikelstorlek och ursprung talar mot ett sådant. Enligt institutet för experimentell fysik på Universitetet i Wien visar en undersökning, gjord i urban miljö, att majoriteten av sotpartiklar är av storleksordningen $0,1 - 0,4\mu m$ [7]. Utifrån URBAN-projektets mätdata har en undersökning gjorts för att finna ett eventuellt samband då intresset inom miljösektorn är stort och då delar av tidiga mätningar tyder på samband. Om sambandet finns och en regressionskoefficient k kan beräknas skulle sotmätningssmetoden kunna ersättas med PM_{10} -metoden och sotdata sedan 30 år tillbaka i tiden användas för att uppskatta dåvarande halten för PM_{10} .

Dessutom kan regressionkoefficienten ge underlag till en trendstudie som kan ge visst underlag till prognoser av framtida halter PM_{10} i luft.

2 Fysikalisk beskrivning av partiklar

Ofta i den vetenskapliga litteraturen benäms partiklar som svävar i gas eller luft för aerosolpartiklar. De brukar storleksmässigt delas in i två huvudgrupper dels fina partiklar med aerodynamisk diameter mindre än $2,5\mu m$ samt grova partiklar större än $2,5\mu m$. Då partiklar kan anta oregelbunden form approximeras de enligt definitionen för aerodynamisk diameter. Det vill säga den fallhastighetsekvivalenta diametern hos en (tänkt) klotformad partikel med densiteten $1 (g/cm^3)$ [2].

Uppdelningen av partiklar är beroende av dess storlek och härkomst. Sot är små svävande svarta partiklar i storleksordning mindre än $10\mu m$. Sotpartiklar uppstår ofta vid ofullständig förbränning och består till största del av poröst kol till vilket det ofta adsorberats oförbrända kolväten och metaller från bränslet.

PM_{10} (Particulate Matter) består av både ljusa och mörka partiklar med en aerodynamisk diameter mindre än $10\mu m$. Dess förekomst är både naturlig och antropogen. Uppehållstiden i luft är relativt kort och PM_{10} transporteras därför inte så långa sträckor innan de deponeras. PM_{10} härrör främst från lokala källor, varför källan till utsläppen av partiklar är viktigt att beakta.

Partiklar kan förekomma som naturliga eller antropogena. I en global uppskattning av atmosfäriska partiklar är den största delen av naturlig förekomst, medan de antropogent skapade partiklarna överväger i tätbebyggda områden. De partiklar som förekommer naturligt är till exempel jordstoff, havsspray och stoff från vulkanutbrott. Man räknar biotiska partiklar så som pollen, sporer och bakterier till grova naturliga partiklar. Exempel på antropogena partiklar är ofullständigt förbrända kolväten som kommer bland annat från trafiken, industrin och förbränning av tjockolja. Villapannor och småskalig vedeldning står också för en stor del av utsläppen.

3 Mätplatser

Av de tretton kommuner som ingår i undersökningen har tre tagits bort då deras mätvärden är för få, på grund av databortfall, eller felaktiga. De resterande 10 kommunerna är Timrå, Örnsköldsvik, Tranås, Östersund, Katrineholm, Karlskoga, Sala, Boden, Uppsala och Burlöv se figur 1. Tätorterna i dessa kommuner representerar trafik och persontäta områden samt kust- och inlands- områden med geografisk spridning i landet.

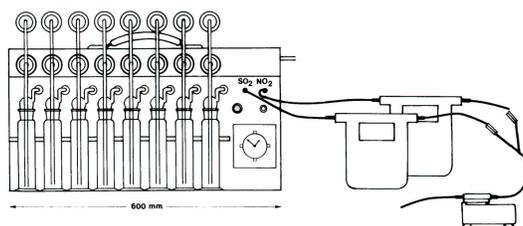
Särskilda mätplatskriterier för stationen ska uppfyllas. Exempel på detta är fritt från storkällor, centralt belägen, persontätt område, öppen plats det vill säga urban bakgrund/taknivå med bestämt avstånd mellan fasad och provtagare [5]



Figur 1: Sverigekarta med de tätorter som ingår i Urbanmätnätet, där de svarta prickarna visar de som mäter PM₁₀.

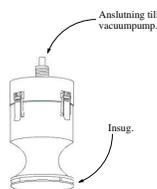
4 Mätapparatur

Sotmätningarna görs med en halvautomatisk dygnsprovtagare som har åtta kanaler, en kanal för varje dygn, där luft sugs igenom ett pappersfilter (Whatman 1) med hjälp av en vakuumpump, se figur 2. Varje filter exponeras 24 timmar. Därefter mäts de svarta partiklar som samlats på filtret genom reflektometrisk analys. Den uppmätta reflektansen omräknas sedan till $\mu\text{g}/\text{m}^3$ luft med hjälp av en kalibreringskurva samt provtagningsvolymen. Metoden är standardiserad (OECD Paris 1964).



Figur 2: En schematisk bild över den halvautomatiska dygnsprovtagaren, med de åtta kanalerna, för mätning av bland annat sot.

IVL har tagit fram en PM_{10} -provtagare, se figur 3, och varje provtagare har liksom sotprovtagaren åtta enheter. Såsom för sotprovtagaren samlas PM_{10} på ett uppsamlingsfilter och provtagaren är kopplad till en vakuumpump. Konstruktionen kan liknas vid en halvautomatisk volymsprovtagare [2] som med hjälp av en impaktor, där lufthastighet och utformningen av impaktorsteget har betydelse, kan avskilja större partiklar pga deras tröghet. Filtren vägs före och efter exponering och halten erhålls, genom viktskillnaden och provtagningsvolymen, i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

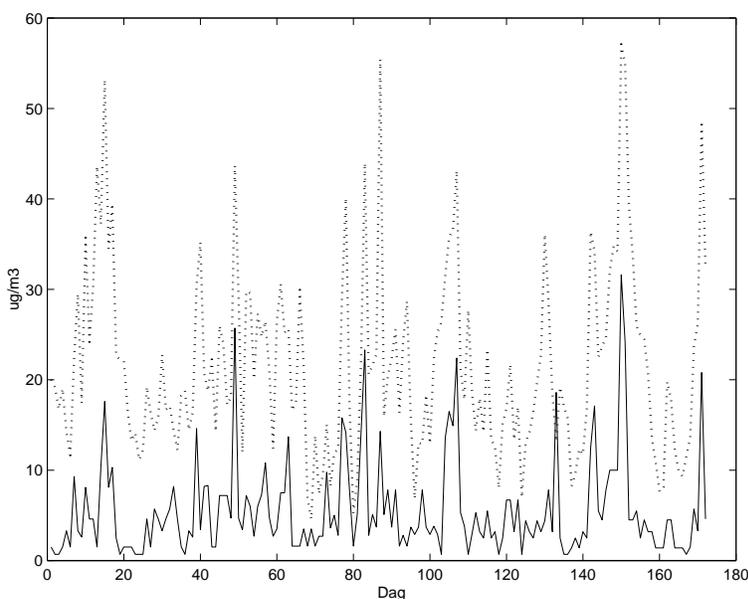


Figur 3: Ett provtagningshuvud för PM_{10} . Partiklarna sugas in mellan bottenplattorna med hjälp av en vakuumpump.

Provtagningarna utförs av kommunerna och filtren skickas till IVL för analys. Arbetet med halvautomatiska dygnsprovtagare begränsas till filterbyten och tillsyn en gång per mätvecka. mse

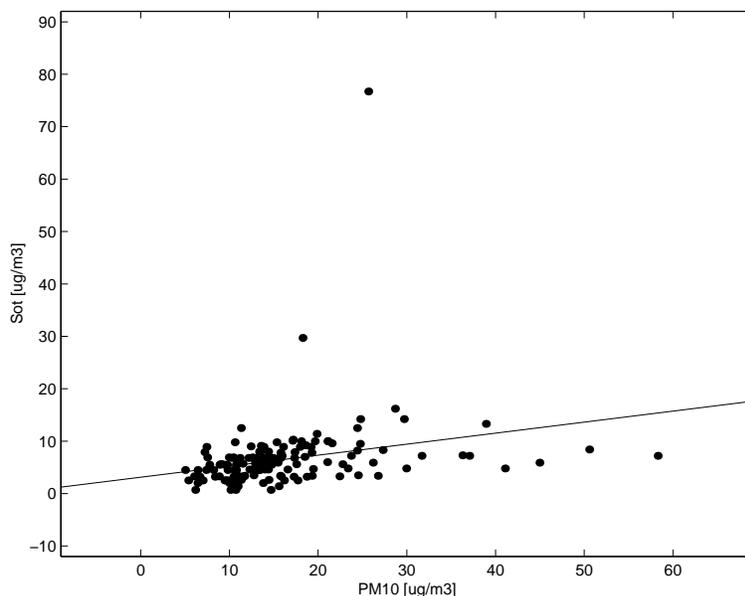
5 Undersökningsmetodik för regressionskoefficient

Då undersökningen eftersträvar att finna ett gemensamt samband för hela Sverige har Tukey multiple testet valts som undersökningsmetodik [6]. Den behandlar flera stokastiska variabler samtidigt och dessutom ger den en gruppindelning för de städer som inte går att skilja åt inom testet. Halterna av de båda partikelfraktionerna för varje stad har jämförts och de följer varandra väl. Två illustration av sambandet kan ses i figur 4 och 5. Där figur 4 visar sambandet av halterna för Burlöv och figur 5 sambandet i Katrineholm.



Figur 4: Partikelhalter i Burlöv från oktober till mars. Den heldragna linjen är sot-halten och den prickade PM_{10} -halten.

Då även de nio andra städernas jämförelse har samma tendens ansätts ett linjärt samband mellan sot och PM_{10} . Den eventuella regressionskoefficienten k undersöks enligt formeln för en enkel regressionslinje



Figur 5: Samband mellan Sot och PM₁₀ i Katrineholm under vinterhalvåret 00/01.

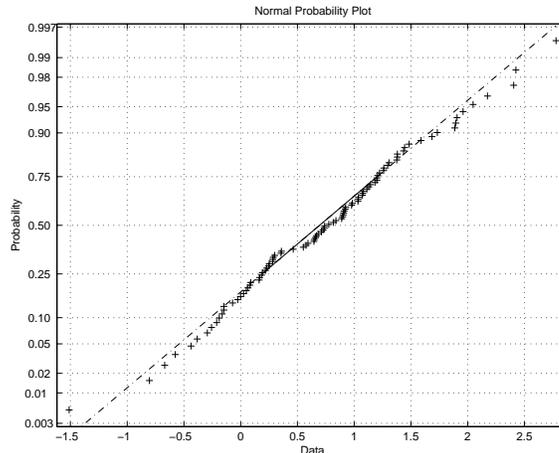
$$y = kx + m \quad (1)$$

där $y=PM_{10}$, $x=sot$ och m är en bakgrundshalt vilken lämnas utanför i analysen då den inte påverkar regressionskoefficienten (lutningen på linjen)[8]. De framtagna halterna logaritmeras och värdena för $\ln(k)$ läggs i den stokastiska variabeln X , alltså

$$\ln(k) = \ln(PM_{10}) - \ln(sot) = X.$$

Testet i undersökningen bygger på att mätningarna x_i , för varje stad, är gjorda på en bakomliggande nästan normalfördelad stokastisk variabel X_i . Detta kontrolleras med en så kallad qq-plot [4] som visar vilken fördelningskurva som ska användas. Om normalfördelning föreligger antyds en rät linje. För alla de 10 städerna i testet visar qq-ploten en rät linje där figur 6 representerar Örnsköldsvik.

Om regressionskoefficienten k är en och samma för hela landet bör inte X_i variera för de olika mätplatserna. De 10 städerna i tabell 1 måste således jämföras samtidigt mot varandra. Då olika antal mätningar (n) i varje stad föreligger görs testet för obalanserade problem [3].



Figur 6: En qq-plot över Örnsköldsvik. Den räta linjen tyder på en bakomliggande nästan normalfördelad stokastisk variabel.

För att kontrollera medelvärdet μ för respektive stad utförs hypotestestet

$$H_{ij} : \mu_i - \mu_j \leq 0$$

på signifikansnivå $\alpha = 0,05$,
där H_{ij} förkastas om

$$\bar{X}_i - \bar{X}_j \geq z \cdot S_p \frac{\sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}}}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Då z i (2) inte kan utläsas ur färdiga tabeller görs en simulering av fördelningskurvan som bygger på Studentized range distribution [3] med $\sum_{i=1}^M n_i - M$ frihetsgrader, där n är antal mätvärde för varje stad och M är antalet städer. Det simulerade z värdet i testen är 4,48 (se bilaga 1).

En polad varians S_p används i testen då varje stads varians faller inom ramen för samma varians. En reservation görs för variansen i Timrå då den avviker något men ej anses påverka annat än gruppindelningen.

Testet görs för alla kombinationer av städer och förkastas i de fall då en eller båda differanserna överstiger minsta påvisbara skillnad. Alltså om de jämförda städerna skall anses lika krävs att både $\bar{X}_i - \bar{X}_j$ och $\bar{X}_j - \bar{X}_i$ är mindre än $z \cdot S_p \frac{\sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}}}{\sqrt{2}}$ som är den minsta påvisbara skillnaden.

Tabell 1: Data till grund för statistiska beräkningar

Städer	Antal mätningar (n)	Medelvärde (\bar{X})	Varians (S^2)
Timrå	118	0,554779	1,1645
Örnsköldsvik	96	0,739006	0,5868
Tranås	142	0,933213	0,6243
Östersund	129	0,985605	0,6555
Katrineholm	151	1,002436	0,3728
Karlskoga	118	1,1185021	0,5324
Sala	149	1,192790	0,6545
Boden	89	1,200044	0,7235
Uppsala	139	1,282714	0,5866
Burlöv	172	1,629928	0,5258

Observera att testet inte visar likhet utan endast att olikhet inte föreligger. De \bar{X} som i Tukey testet anses lika urskiljs och en gruppindelning faller ut. Det vill säga de \bar{X} som inte går att skilja paras ihop enligt följande exempel

$$\underbrace{\bar{X}_{(1)} \quad \bar{X}_{(2)}}_{\text{Grupp 1}} \quad \underbrace{\bar{X}_{(3)} \quad \bar{X}_{(4)} \quad \bar{X}_{(5)} \quad \bar{X}_{(6)}}_{\text{Grupp 2}},$$

där $\bar{X}_{(1)}$ anses vara lika med $\bar{X}_{(2)}$ och ingår i en grupp medan $\bar{X}_{(3)}$ till $\bar{X}_{(6)}$ tillhör den andra. Det är alltså mellan $\bar{X}_{(2)}$ och $\bar{X}_{(3)}$ den påvisade olikheten finns.

6 Resultat

Resultatet från Tukey testet visar att de tio olika tätorternas medelvärde inte kan anses vara lika utan grupperas på detta sätt

$$\underbrace{\bar{X}_{(\text{Tim})} \quad \bar{X}_{(\text{Örn})}}_{\text{Grupp 1}} \quad \underbrace{\bar{X}_{(\text{Tra})} \quad \bar{X}_{(\text{Öst})} \quad \bar{X}_{(\text{Kat})} \quad \bar{X}_{(\text{Kar})} \quad \bar{X}_{(\text{Bod})} \quad \bar{X}_{(\text{Sal})}}_{\text{Grupp 2}} \quad \underbrace{\bar{X}_{(\text{Upp})} \quad \bar{X}_{(\text{Bur})}}_{\text{Grupp 3}},$$

Det betyder att en, för alla tätorter gemensam, regressionskoefficient mellan sot och PM_{10} inte kan påvisas. Däremot visar testet att vissa tätorter inte kan skiljas åt utan faller ut i fem olika grupper. Till vänster ses Timrå/Örnsköldsvik ingå i en grupp medan Burlöv på högra sidan inte bildar någon grupp. Däremellan bildar de övriga tätorterna tre olika grupper.

Metoderna för att mäta PM_{10} och sot är således inte utbytbara för hela landet, det vill säga det räcker inte att mäta PM_{10} för att sedan räkna ut halten för sot. Inte heller trendstudier för PM_{10} utifrån sothalten går att utföra generellt för hela landet då en regressionskoefficient inte kunnat påvisas.

7 Slutsats och diskussion

Enligt Tukey-testet finns inget gemensamt samband för hela landet. Men då en gruppindelning av oskiljbara tätorter fås i testet kan eventuellt en regressionskoefficient finnas för varje grupp. Den kan användas i regionala prognoser av PM_{10} . De långa sotmätningarna kan således komma till användning för att i dessa grupper finna ett samband mellan sot och PM_{10} .

Möjliga felkällor kan vara de veckovisa luckorna i mätserien som bör vara av betydelse. Den hänsyn som tagits till detta problem är att hela mätserien i en tätort tas bort då mer än 40% av mätvärdena saknas. Den mänskliga faktorn vid hantering av filter under partikelinsamlingen anses ha mindre betydelse. Kallibrering av reflektometern görs efter ett visst antal avlästa filter och kan på så sätt påverka sothalten. Som tidigare nämnts görs en reservation för variansen i Timrå vilken påverkar den poolade variansen och således gruppindelningen.

De faktorer som påverkar sammansättningen av partiklar i luften är bland annat det geografiska läget, närheten till stora industrier, trafiken och storleken på tätorten. Ur grupperingen kan utläsas att de gemensamma faktorerna för grupp Timrå/Örnsköldsvik är norrlands ostkustregion samt att de är små tätorter. Data för gruppen säger att halten PM_{10} är något lägre än i övriga tätorter.

I grupp två, tre och fyra finns inte samma typ av tydliga gemensamma faktorer förutom att de alla är tätorter i inlandet. En närmare undersökning av dessa tätorter skulle kunna ge de faktorer som kopplar dem samman. Burlöv däremot, som inte ingår i någon grupp, ligger längst söderut vid kusten i

närheten av storstäderna Köpenhamn, Malmö och Helsingborg. PM_{10} -halten är betydligt högre än sothalten, vilket skulle kunna vara en förklaring till att den bildar en egen grupp och skiljer sig markant från de övriga grupperna.

Om det nu inte finns något samband mellan PM_{10} och sot kan det tyckas anmärkningsvärt att halterna följs åt så väl som ses i figur 4. En förklaring kan vara att Sveriges luft är relativt ren, på grund av åtgärder som har gjorts för att minska partikelhalten, så att den större fraktionen av partiklar inte är representerad på uppsamlingsfiltren. Kan det vara så att de partiklar som samlas på PM_{10} -filtren motsvarar fraktionen $PM_{2,5}$. Eller kan situationen vara omvänd, det vill säga att den största delen av partiklarna på filtren består av grova partiklar. Hur stor andel av PM_{10} som motsvaras av fraktionen $PM_{2,5}$ är svår att bedömma. Då mätningarna utförs i så kallad urban bakgrund, 4 – 10m ovan mark, föranleder detta oss att tro att de största partiklarna deponeras innan de når mätutrustningen.

Vi föreslår därför ett sambandstest mellan $PM_{2,5}$, PM_{10} och sot. En kemisk analys av filtren bör utföras för att kartlägga varifrån de kommer samt ett försök att finna fördelningen av partikelstorlek. Dels med anledning av att de fina partiklarna anses ha större negativ hälsopåverkan men även för att miljökvalitetsnormer sannolikt kommer att införas för $PM_{2,5}$ inom en snar framtid.

Referenser

- [1] *Statens offentliga utredningar 2000:52 Miljödepartementet: **Framtidens miljö -allas vårt ansvar**. Nordstedts Tryckeri AB Stockholm: 2000. ISBN 91-38-21222-6*

- [2] *Skandias Miljökommission: **Partiklar och hälsa - ett angeläget problem att undersöka: Partiklar i omgivningsluft i Sverige**. 4 november 1996 (rapport nr 5)*

- [3] *Holm Sture: **Applied Multiple Inference** kap 3 och 8, Department of Mathematical Statistics Chalmers University of Technology and Göteborg University: 1998*

- [4] *Rice John A: **Mathematical Statistics and Data Analysis**, Second Edition. Duxbury Press: 1995. ISBN 0-534-20934-3*

- [5] *IVL Svenska Miljöinstitutet AB: **Luftkvaliteten i Sverige sommaren 1999 och vintern 1999/00 Bilaga 4**. Göteborg september 2000. (rapport)*

- [6] *Hochberg Y, Tamhane A: **Multiple comparison procedures**. John Wiley New York 1987 (artikel)*

- [7] *Hitzenberger, Tohno: **Comparison of black carbon (BC) aerosols in two urban areas - concentrations and size distributions**. Atmospheric Environment 35 (2001) 2153-2167 (artikel)*

- [8] *Ronny Gunnarsson: **Korrelation och regression**. (<http://www.infovicio.se/fou/bok/statmet/10000053.htm>), 2001-05-16. (webbdokument)*

Bilaga 1

Programkoden för simuleringen av z i MATLAB:

```
m=10  
  
s=172+118+142+151+139+149+129+96+89+118-10  
  
F=[];  
  
for k=1:100000  
  
    U=randn(1,m);  
  
    W=chi2rnd(s);  
  
    A=range(U);  
  
    B=(W/s);  
  
    C=sqrt(B);  
  
    F=[F,A/C];  
  
end;  
  
F=sort(F);  
  
z=F(ceil(100000*0.95))
```