

Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 60

Aerosolers dygnsvariationer och långväga transporter

Ett samarbete mellan:
Naturgeografiska Institutionen och
Avdelningen för Kärnfysik vid Lunds Tekniska Högskola

Thomas Granhäll



Department of Physical
Geography,
Lund University
Sölvegatan 13, S-221 00 Lund,
Sweden

1999



ABSTRACT

This work aims to obtain information on diurnal variations of aerosol concentrations in the city of Lund (Sweden) and trying to locate the origin of the aerosols long distance transports. The study shows that the aerosol concentrations varied quit strongly over the entire measurement period, reflecting air masses of different degrees of pollution, mainly as a result of the diurnal rhythm of the traffics. Trajectories reveals that air masses originated in Southeastern and Eastern Europe contains higher aerosol concentrations compared to other air masses.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	5
1. INTRODUKTION	6
1.1. Bakgrund	6
1.2. Syfte	6
1.2.1 Förtydligande	7
1.3. Inledning: Atmosfäriska partiklar	7
1.3.1. Partikelstorlekar	7
1.3.2. Källor	9
1.3.3. Uppehållstider	9
1.3.4. Transport	9
1.3.5. Atmosfäriska aerosolers sammansättning	10
1.3.6. Koncentrationer	10
1.3.7. Effekter	11
2. METOD	14
2.1. Strategi	14
2.1.1. Mätstation och datainsamling	14
2.2. Mätinstrument	16
2.2.1. DMPS – Differential Mobility Particle Sizer	16
2.2.2. CPC – Condensation Particle Counter	17
2.2.3. Väderstation	18
2.3. Programvara och datakällor	18
2.3.1. Mjukvara	18
2.3.2. Nederbördsdata	19
2.3.3. Regional lufttrycksdata	19
2.3.4. Trajektorier	19
3. MÄTRESULTAT OCH ANALYS	20
3.1. Meteorologiska resultat	20
3.1.1. Temperatur	20
3.1.2. Vind	21
3.1.3. Relativ luftfuktighet och nederbörd	23
3.2. Aerosolmätningens resultat	24
3.2.1. Partikelantalets variation med tiden	24
3.2.2. Aerosolernas storleksfördelning	26
3.2.3. Modernas koncentrationsvariationer med tiden	30

3.3. Undersökning av partikelförhållanden	37
3.3.1. Förhållande till lokal vindriktning	37
3.3.2. Förhållande till temperatur	38
3.3.3. Förhållande till relativ luftfuktighet och nederbörd	39
3.4. Aerosolernas långväga transporter	40
3.5. Felkällor	42
3.6. Diskussion	44
4. SLUTSATSER	48
<hr/>	
REFERENSER	49
BILAGA 1. DMA	50
BILAGA 2. Lufttrycksdata	51
BILAGA 3. Trajektoriedata	52
BILAGA 4. Temperatur	53
BILAGA 5. Relativ luftfuktighet	54

SAMMANFATTNING

Syftet med detta arbete är att dels försöka finna dygnsvariationer i koncentrationen av fina aerosoler, dels att försöka förklara vad dessa kan bero på i den mån det är möjligt. Syftet inkluderar även att undersöka aerosolernas långväga transporter för att härigenom ta reda på varifrån partiklarna kommer ur ett regionalt perspektiv. För att lösa uppgiften utnyttjades ett sk DMPS (Differential Mobility Particle Sizer) system, en väderstation samt trajektoriedata. Resultatet visar på tydliga dygnsvariationer i den Lundensiska atmosfären. I ett långt perspektiv kännetecknas partikelantalets variationer av ett återkommande mönster, där atmosfären under vardagarna i genomsnitt innehåller ungefär 60% fler partiklar än under helgerna. I ett kortare perspektiv kännetecknas det genomsnittliga dygnet av tre gånger fler partiklar under dagen än under natten, och där den genomsnittliga vardagen uppvisar sina högsta toppar under förmiddagen och eftermiddagen. Analysen visar att det inte finns något tydligt samband mellan det uppmätta partikelantalet och mätperiodens meteorologiska förhållanden vad avser temperatur, lokal vind och relativ luftfuktighet.

Den genomsnittliga partikelkoncentrationen kännetecknas av en kraftig dominans av partiklar inom nukleeringsmoden. Halterna är emellertid mycket låga under nätterna, i genomsnitt sex gånger lägre än under dagen. Variationerna följer i övrigt ett typiskt dygnsmönster som speglar de antropogena aktiviteterna i området kring Lunds stad. De något lägre koncentrationerna av partiklar inom Aitkenmoden uppvisar liknande mönster men förefaller vara något förskjutna mot senare delen av dygnet. Koncentrationerna inom nukleeringsmoden och Aitkenmoden kan förklaras av de typiska lokala urbana förhållanden som var rådande under mätperioden. Variationerna av partikelhalterna inom ackumuleringsmoden är i motsats till övriga moder högst oregelbundna. Undersökningen visar att regionala sydostliga vindar innehåller upp till elva gånger högre halter av specifika partikelstorlekar inom ackumuleringsmoden än de nordvästliga vindarna. Analysen visade att dessa sekundära partiklar transporterats till Lund med regionala vindar med ett ursprung från i huvudsak östra Centraleuropa.

1. INTRODUKTION

1.1. Bakgrund

Människan har under de senaste 150 åren ökat luftens halt av koldioxid, metan och dikväveoxid och därigenom förstärkt den naturliga växthuseffekten. Vidare har utsläpp av bl a CFC-gaser (freoner) förändrat mängden ozon i atmosfären. I stratosfären har resultatet blivit en ozonminskning och i troposfären en ozonökning. Teoretiska beräkningar gjorda av Intergovernmental Panel on Climate Change visar att jordens strålningsbalans på detta sätt hittills ökat med ungefär $2,4 \pm 0,3 \text{ W/m}^2$ (IPCC, 1994). På senare år har ytterligare en faktor tillkommit. Människan ökar också mängden **aerosoler** i luften, framförallt genom förbränning av fossila bränslen. Aerosolerna reflekterar solstrålningen tillbaka mot rymden och minskar därför den mängd solenergi som omvandlas till värme. Människans totala påverkan på det klimatiska systemet inklusive aerosolerna har uppskattats till $1,7 \pm 0,6 \text{ W/m}^2$ vilket vid jämvikt motsvarar en uppvärmning i intervallet $0,8 \pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ (Klimatdelegationen, 1995). Aerosolerna motverkar alltså till en del växthuseffekten, men det finns stora osäkerheter i uppskattningarna.

Aerosolernas påverkan på det globala klimatet och de stora osäkerheterna i uppskattningarna har diskuterats livligt under 1990-talet vid världskonferenser i bl a Rio de Janeiro, Berlin och Kyoto. Här har man i stort kommit fram till att de globala miljöproblemen, som innefattar klimatfrågorna, kan lösas ifall de angrips lokalt – "think global" har blivit mottot. Ur denna synvinkel är det av högsta intresse att studera dels hur och varför aerosolkoncentrationen ser ut som den gör i Lund, dels varifrån aerosolerna kommer. Till aerosolproblematiken hör även att vissa partikelstorlekar har en direkt negativ effekt på människans hälsa. Genom att mäta luftens aerosolhalter kan vi indirekt bestämma vilken typ av partiklar som dominerar i området och utifrån detta dra slutsatser ifall dessa halter är skadliga för antingen vegetation, djur eller människa. Med hjälp av bland annat meteorologiska väderstationer och sk trajektorier kan aerosolernas långväga transport och dominerande utsläppskällor ur ett regionalt perspektiv spåras i tid och rum.

1.2. Syfte

Vi vet att trafiken i Lund är en utsläppskälla av fina aerosoler. Vi vet dessutom att trafiken är mer intensiv under dagen än under natten, varför vi kan förvänta oss variationer av aerosolhalten mellan dessa två tidpunkter. Frågan är ifall variationer kan skönjas även vid olika tidpunkter under dagen och ifall det finns någon skillnad i eventuella variationer mellan vardag och helgdag. I detta sammanhang är aerosolpartiklarnas ursprung ur ett geografiskt perspektiv en högst vital faktor då ursprunget förhoppningsvis till viss del kan förklara eventuella variationer. Luftpaket som härstammar från de industrialiserade regionerna i södra Europa kan antas innehålla högre partikelkoncentrationer än luftpaket från regioner norr om Lund. *Syftet med detta arbete är därför att dels försöka finna eventuella dygnsvariationer i koncentrationen av fina aerosoler i Lunds stad, dels försöka förklara vad dessa kan bero på i den mån det är möjligt. Arbetet syftar även till att undersöka aerosolernas långväga transporter för att härigenom försöka lokalisera varifrån partiklarna kommer ur ett större*

regionalt perspektiv. Själva undersökningen är begränsad till att omfatta partiklar i storleksordningen från 0,003 μm till ungefär 1 μm .

1.2.1 Förtydligande

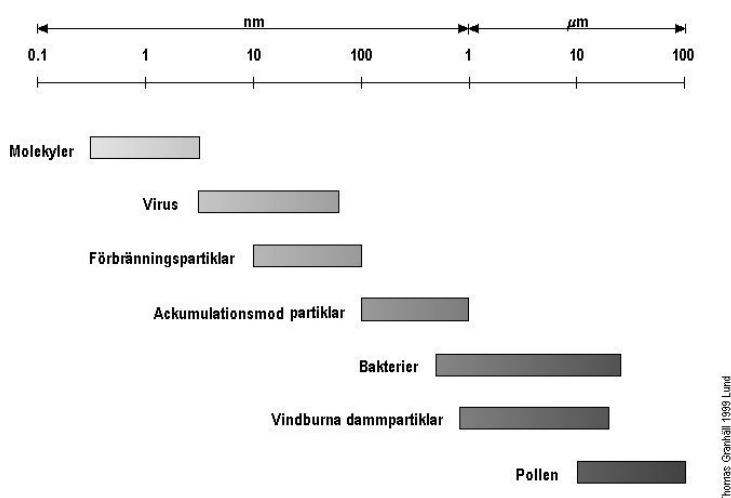
I uppsatsen kommer orden "partikel" och "aerosol" användas allmänt om vartannat, men i samtliga fall åsyftas partiklar med en storlek som är mindre än ungefär 1 μm om inget annat anges. I de fall ultrafina aerosoler eller ultrafina partiklar nämns avses aerosoler i den sk nukleeringsmoden, dvs partiklar med en storlek mindre än ungefär 20 nm. I de fall partikelantalet diskuteras är det underförstått att antalet partiklar *oberoende av storlek* mellan mätintervallet 3 till 850 nm åsyftas. Vidare diskuteras då och då atmosfären i anknytning till aerosolerna. I dessa fall avses främst de nedre delarna av atmosfären, dvs troposfären.

1.3. Inledning: Atmosfäriska partiklar

Med detta inledande kapitel avses att ge läsaren en kortfattad överblick i ämnet om aerosoler, dvs beskriva en del av det som sedan tidigare är känt och peka på viktiga fakta som anses vara relevanta för undersökningen. Särskild vikt läggs vid att förklara betydelsen av olika partikelstorlekar och aerosolens effekter.

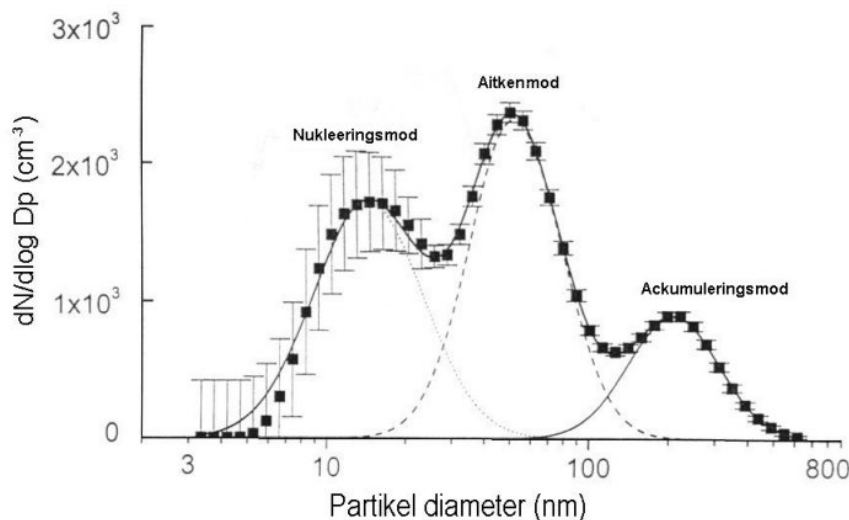
1.3.1. Partikelstorlekar

En aerosol kan definieras som en samling fasta eller vätskeformiga partiklar som är så små att de kan hålla sig svävande i en blandning av gaser, oftast i vad vi kallar luft. Aerosolernas storlek är av avgörande betydelse då man vill studera aerosolens egenskaper vad avser transport och deposition. Storleken varierar från några fåtal nanometer (ca 10^{-9} m) till några bråkdels millimeter (ca 10^{-4} m). De partiklar vi räknar till luftföroreningarna ligger inom intervallet 0,001 till 10 μm . En storleksjämförelse mellan molekyler och olika typer av fina partiklar ger oss en vink om vid vilken dimension undersökningen utförs (figur 1). Trots att huvuddelen av partiklarna inte är sfäriska är det praktiskt att ange storleken på en partikel genom dess ekvivalenta diameter, vilket motsvarar diametern hos en sfär som utsätts för samma rörelsemotstånd som en icke sfärisk partikel.



Figur 1. Ungefärlig ekvivalent diameter för några olika typer av partiklar. Molekyldiametern har lagts till för att ge ett jämförande storleksperspektiv. Lägga märke till storleksintervallet för förbränningsprodukter som ligger vid ungefär 10-100 nm (modifierad figur efter Crutzen, 1993).

Partiklarna brukar delas in i en finfraktion och en grovfraktion. Grovfraktionen innefattar partiklar större än $2,5 \mu\text{m}$ medan partiklar mindre än $2,5 \mu\text{m}$ tillhör finfraktionen (Stanners, 1995). De båda fraktionerna kan i sin tur delas upp i tre olika sk moder (typvärden); nukleeringsmoden, ackumuleringsmoden och grovmoden. De olika moderna har olika fysikaliska egenskaper och källor. Exempelvis tillhör de mekaniskt genererade partiklarna grovmoden. Mer om detta i nästa kapitel. I en antalsfördelning framträder främst nukleeringsmoden och ackumuleringsmoden, vilka tillsammans utgör finfraktionen bland aerosolpartiklarna. Nukleeringsmoden består av direkt emitterade sk primära partiklar medan ackumuleringsmoden består av de sk sekundära partiklar som bildats indirekt genom omvandling eller anhopning med andra partiklar uppe i atmosfären. Forskning på bl a Fysicum i Lund har på senare tid visat att ackumuleringsmoden består av två moder dels den finare sk Aitkenmoden, dels själva ackumuleringsmoden (figur 2). Den nuvarande hypotesen är att molnprocesser ökar diametern för de partiklar som bildar molndroppar. Därigenom förskjuts en del av Aitkenmoden mot större diametrar och bildar en egen mod nämligen ackumuleringsmoden. Molndroppar bildas kring partiklar som i torrt tillstånd har en storlek på $0,1\text{-}0,5 \mu\text{m}$. Molndropparna i sig själv är typiskt ca $5\text{-}20 \mu\text{m}$ (Bohgard, 1994). Detta kan jämföras med regndropparnas storlek som normalt ligger mellan $0,3\text{-}2 \text{ mm}$ (Crutzen, 1993).



Figur 2. I en logaritmisk storleksfördelning kan de atmosfäriska aerosolerna inom finfraktionen delas in i tre olika moder; nukleeringsmoden, Aitkenmoden och ackumuleringsmoden (modifierad figur efter Birmili, 1998).

Aerosoler med olika ursprung bidrar till olika delar av partikelstorleksfördelningen. Heta förbränningsgaser som avkyls och olika reaktionsprodukter från kemiska reaktioner i atmosfären kan nå ett ångtryck som är högre än jämviktsångtrycket. Om övermättnaden blir tillräckligt hög kommer resultatet att bli en homogen nukleering, dvs det att gasmolekyler av en eller flera kemiska föreningar slås samman till en partikel. Ultrafina partiklar som bildas under dessa förutsättningar har hög diffusionshastighet och besitter en diameter på endast några få nanometer. I en logaritmisk storleksfördelning bildar dessa partiklar en nukleeringsmod kring 14 nm . Experiment har visat att om luften från början inte innehåller några fina partiklar kommer dessa små partiklar att koagulera (klumpas samman) vilket resulterar i att storleksfördelningen successivt förskjuts mot större partikelstorlekar. Existensen av en nukleeringsmod tyder på närhet till antingen naturliga eller antropogena utsläppskällor. Partiklar i ackumuleringsmoden tenderar att bestå av något äldre partiklar

jämfört med partiklarna i nukleeringsmoden. I ackumuleringsmoden finns den största massan vilket dels beror på att partiklarna i sig är volymmässigt större, dels att de ultrafina partiklarna inte bara koagulerar med sig själva utan även med större partiklar i ackumuleringsmoden (Kittelson, 1998). Ackumuleringsmoden övre gräns ges av att depositions hastigheten ökar kraftigt för partiklar med en storlek på ungefär 2.5 μm , samtidigt som den relativa storleksökningen på grund av koagulering avtar starkt.

1.3.2. Källor

Aerosolerna har ett stort antal källor. De uppstår både från naturliga och antropogena källor. Till de naturliga källorna hör bl a partiklar som blåses upp från marken till atmosfären genom vinderosion, sk minerogent stoff. Havssalt är en annan naturlig och viktig komponent i aerosolen, inte bara till havs utan även på kontinenten. Partiklar av havssalt uppkommer till havs via det havsspray som genereras genom vind- och vågrörelserna. Naturliga skogsbränder ger partiklar bestående av organiskt kol och sot. Då och då tillförs Sverige även av stora mängder partiklar från vulkaner. De flesta naturliga aerosolpartiklar tillhör dock grovfraktionen i motsats till de antropogena källorna. Den viktigaste antropogena källan till de atmosfäriska aerosolerna är förbränning av fossila bränslen inom industrin, vägtransporterna och hushållen (Stanners, 1995). Just i fallet Lund, där denna undersökningen utförs, tillhör fordonstrafiken förmodligen den huvudsakliga utsläppskällan av ultrafina aerosoler, då varken industrin eller hushållen i Lund kan anses vara storkonsumenter av fossila bränslen. Fordonstrafikens dieseldrivna fordon och arbetsmaskiner ger särskilt stora partikelutsläpp (Kittelson, 1998). Dieselmotorer ger upphov till stora mängder fina partiklar bestående av sot, oförbränt bränsle och smörjolja samt sulfater som härstammar ifrån svavlet i dieseloljan. Mer om detta i kapitel 1.3.5.

1.3.3. Uppehållstider

Avgörande för hur långt partiklar kan spridas beror på hur länge de kan hålla sig svävande i atmosfären. Aerosolernas atmosfäriska uppehållstid är främst betingat av partikelns storlek, men även på förekomsten av moln och mängden upplöst material i de enskilda partiklarna. De troposfäriska aerosolerna har förhållandevis kort uppehållstid, från någon dag till några veckor, och uppvisar ofta en stor rumslig variation. Partiklar i den sk nukleeringsmoden, dvs de allra minsta partiklarna (ca 0,01- 0,05 μm) har en genomsnittlig uppehållstid på endast några få timmar till något dygn, vilket beror på att dessa nästan omedelbart efter det att de producerats slås samman till större partiklar genom koagulation. Partiklar i den sk ackumuleringsmoden (ca 0,05-1 μm) har en genomsnittlig uppehållstid på 10-14 dagar. De större partiklarna på minst några μm i diameter har en betydande fallhastighet och försvinner snabbt ur luftpaketet.

1.3.4. Transport

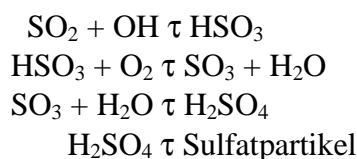
Troposfärens omblandning har stor inverkan på aerosolernas transportvägar. Den genomsnittliga vertikala omblandningen för hela troposfären är ungefär en månad. Den horisontella omblandningen är mer varierad beroende på geografiskt läge. För aerosoler med tillräckligt lång atmosfärisk uppehållstid kan förekomsten registreras på mycket stora avstånd från källan. Exempelvis observeras med jämna mellanrum föroreningsepisoder i Sverige från bl a Storbritannien och vid enstaka tillfällen har källan lokaliserats till Nordamerika (Toresson, 1997). För att bestämma varifrån luftmassan kommer ifrån vid en specifik föroreningssituation kan vi med hjälp av meteorologiska observationer baserade på lufttrycksdata, sk trajektorier, räkna bakåt i tiden och på så vis bestämma luftmassans transportväg. Beräkningarna kan göras med relativt stor säkerhet ungefär fem dygn bakåt i

tiden och utgår normalt ifrån vindförhållanden ovanför molnbasen, dvs på ungefär 1000 meters höjd.

1.3.5. Atmosfäriska aerosolers sammansättning

Atmosfären består av en komplex och dynamisk blandning av gaser, partiklar och molndroppar. Eftersom aerosolernas kemiska innehåll varierar mycket i tid och rum är det svårt att exakt ange sammansättning. Det är emellertid känt sedan tidigare att vattnet spelar en viktig roll i aerosolens livscykel. Beroende på hur hög den relativa luftfuktigheten är kan vatten utgöra en stor del av aerosolens totala massa. Det är också känt att aerosolerna sammansättning påverkas av solinstrålning, temperatur, vind och tryck. Experiment där ett luftpaket nära ett källområde följts under några dygn har visat att partiklarnas antal, storlek och kemiska sammansättning kraftigt förändras.

I allmänhet innehåller dock partiklar i grovfractionen ämnen från jord och havsvatten som Al, Cl, Na, Si, Ca, Fe och Mg. Finfraktionen som ofta bildats genom kemisk omvandling av antropogena förbränningsprodukter, som svaveldioxid (SO₂), kväveoxider (NO_x), ammoniak (NH₃) och lättflyktiga organiska ämnen (VOC), består generellt av bl a sulfater (SO₄²⁻), nitrater (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺), kolföreningar (C), samt bly (Pb) (Bohgard, 1994). De viktigaste enskilda ämnena i finfraktionen utgörs av sulfat- och nitratpartiklarna, som båda tar upp vatten vid relativa luftfuktigheter över 70% (Stanners, 1995). Sotpartiklar tillhör också en av de mer betydelsefulla komponenterna i aerosolen. Sulfatpartikeln bildas till följd av en rad kemiska processer som kan beskrivas enligt följande formler (Trenberth, 1992):



Svaveldioxidens oxidation sker både i gasfas och vätskefas. Gasfasoxidationen initieras av hydroxylradikalen. Den svavelsyra som bildas är i gasfas men drar till sig vatten och övergår snabbt till en mikroskopisk droppe av koncentrerad svavelsyra. Svavelsyran kan därefter under särskilda meteorologiska förutsättningar omvandlas till en sulfatpartikel.

1.3.6. Koncentrationer

I blandningsskiktet som normalt varierar mellan 0 och 2000 meter i höjddled anses luften ur regional synvinkel vara väl omblandad och luftföroreningshalterna relativt konstanta, ett resultat av den dynamiska och termiska omblandningen. Föroreningarna inom detta skikt registreras i markbaserade partikelmätningar som ett bakgrundsbrus. Partikelkoncentrationen i närheten av antropogena källor beror dels på källstyrkan och källornas inbördes placering, dels på meteorologiska förhållanden. Partikelhalten kan även vara säsongsbetonad. Exempelvis är de antropogena utsläppen av svaveldioxid i den norra hemisfären störst under vintertid. Höga koncentrationer av svaveldioxid och svävande partiklar resulterar i vad som brukar benämnas "vinter-smog", dvs episoder med kraftiga luftföroreningar då svaga vindar och stark temperaturinversion hindrar vertikal omblandning och utspädning av föroreningarna i de lägre luftskikten. De låga temperaturerna leder till ökad energiförbrukning vilket i sin tur resulterar i större emissionsmängder och ytterligare ackumulation av luftföroreningar. I södra Sverige förekommer vintertid ibland episoder med kraftigt förhöjda partikelhalter på grund av import av förorenad luft från vinter-smogen i Europa. Koncentrationen av svaveldioxid i Europa har emellertid minskat sedan 1980, medan kväveoxiderna (NO_x) ökat kontinuerligt (Holmström, 1996). Enligt SCB ligger dagens totala utsläppen av svaveldioxid i Sverige på

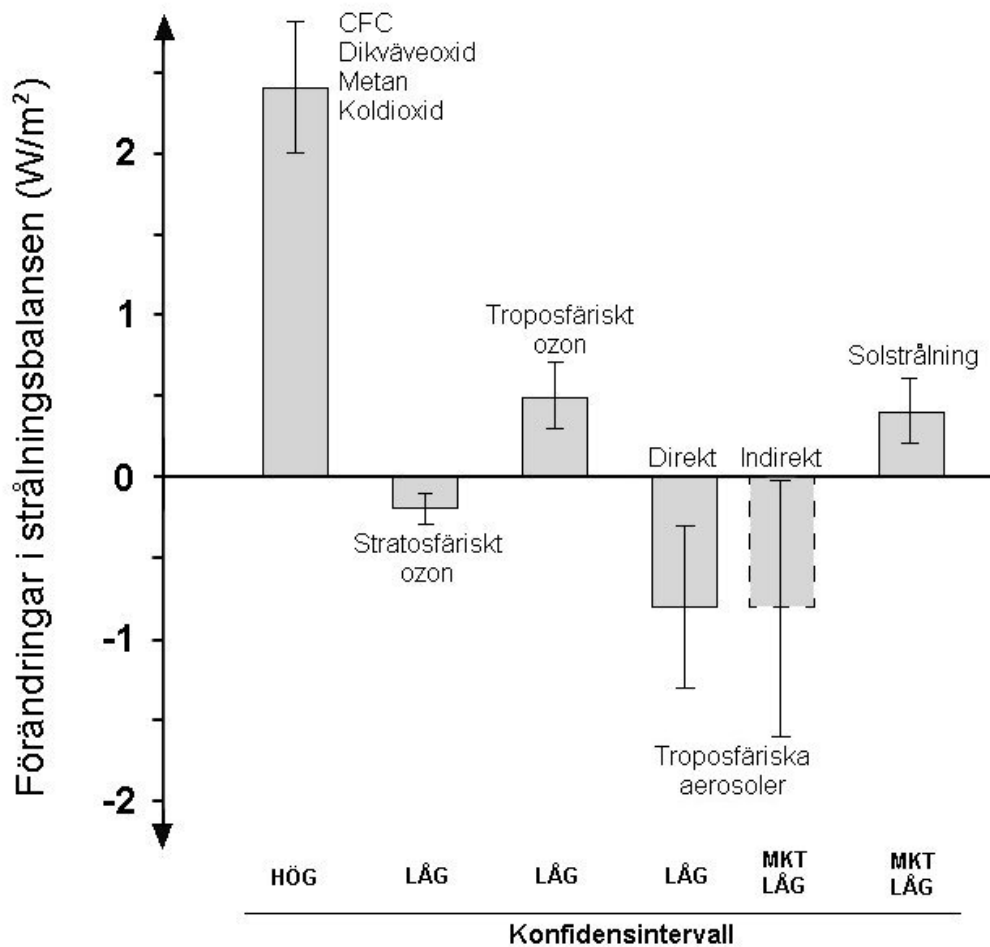
ungefär 101 000 ton per år, medan motsvarande siffra för olika kväveoxider (NO_x) är ungefär 356 000 ton per år (SCB, 1998).

Tidigare undersökningar visar att koncentrationen generellt är högre i de centrala delarna av tätorterna och lägre i ytterområdena (Toresson, 1997 och Birmili, 1998). Tidigare nämndes att källorna till aerosolerna varierar, men lokalt i själva tätorten är trafiken och i viss mån även utifrån kommande föroreningar (bakgrundsbruset) de primära källorna. Genom att trafiken i tätorter som Lund numera ofta leds förbi centrum förskjuts koncentrationsmaximum till att ligga en bit utanför centrum. Lokala punktkällor och trafikleder kan dock lokalt ge förhöjningar av partikelhalten även i centrum. Det är inte självklart att en större tätort alltid får högre partikelkoncentrationer. Topografi och vindhastigheter kan spela en avgörande roll. Vidare har ortens latitud stor betydelse dels på grund av det ökade avståndet till föroreningsbidragen från kontinenten, dels genom att inversionerna tenderar att öka norrut som i sin tur beror på den lägre solvinkeln under vinterhalvåret.

1.3.7. Effekter

Klimat effekt. I introduktionen nämndes att aerosolen utövar en nettoavkylning på jordytan i motsats till växthusgaserna som istället bidrar till en nettouppvärmning. Inom forskarvärlden har denna nettoavkylning benämnts "vithuseffekten" för att summera några av de atmosfäriska strålnings effekter som styrs av aerosolerna (Birmili, 1998). Vithuseffekten baseras på två principer. Den första innebär att aerosolpartiklarna reflekterar en del av den inkommande solstrålningen åter mot rymden. Effekten av denna reflektion blir en *direkt* förändring i strålningsbalansen. Den andra principen har att göra med att koncentrationen av antalet potentiella kondensationskärnor ökar i atmosfären. Molndroppar bildas kring partiklar som i torrt tillstånd har en storlek på 0,1-0,5 μm , medan molndropparna i sig själv normalt är ca 5-20 μm (Bohgard, 1994). Antag att atmosfären har en konstant mängd vattenånga och att denna konstanta mängd kondenserar på ett stort antal kondensationskärnor. Ju fler kondensationskärnor desto mindre mängd vattenånga kan förväntas kondensera på varje partikel. Under dessa förhållanden minskar medelstorleken på molndropparna. Denna förändring i molnstrukturen resulterar i albedoförändringar. Enligt ljusspridningsteori kommer moln med en sådan struktur reflektera en större del av den inkommande strålningen tillbaka till rymden. Effekten blir alltså att aerosolerna ökar molnens reflektionsförmåga och därmed ger en *indirekt* förändring i strålningsbalansen.

Den direkta påverkan som aerosolerna har på den inkommande strålningen har uppskattats till ungefär $0,9 \pm 0,6 \text{ W/m}^2$ (IPCC, 1994). Uppskattningar gjorda på den indirekta effekten är mycket mer osäkra och enligt vissa bedömare så osäkra att endast intervallet inom vilka förändringarna ligger kan anges (Houghton, 1997). De uppskattningar som finns ligger i storleksordningen kring ungefär $0,9 \pm 0,8 \text{ W/m}^2$ (Klimatdelegationen, 1995). Det är uppenbart att mer forskning krävs inom detta område för att förbättra uppskattningarna. Trots osäkerheterna är det ingen tvekan om att aerosolerna utövar en nettoavkylning i strålningsbalansen (figur 3). Man bör dock ha i minnet att aerosolerna globalt sett är ojämnt fördelade och deras effekt kompenserar därför inte på ett enkelt sätt den uppvärmning som växthusgaserna förorsakar.



Thomas Granhäll 1999 Lund

Figur 3. Uppskattningar av den globala förändringen av strålningspåverkan på atmosfären på grund av antropogent förändrade koncentrationer av växthusgaser och aerosoler i atmosfären från år 1850 till idag. Osäkerheterna i uppskattningarna anges på respektive stapel av det markerade intervallet. Lägga märke till att uppskattningarna av aerosolernas indirekta effekter är mycket osäkra (modifierad figur efter Houghton, 1997 och Klimatdelegationen, 1995).

Hälsoeffekter. Aerosolernas hälsofarlighet varierar kraftigt beroende på storlek, form och sammansättning, liksom på vilka ämnen som finns adsorberade på aerosolerna. Partiklar större än 10 μm fastnar huvudsakligen i de övre luftvägarna, medan partiklar mindre än 10 μm kan föras längre ner i lungorna vid inandning. Små partiklar anses av detta skäl därför vara mer hälsofarliga. De små partiklarna har dessutom större yta per viktenhet, vilket betyder att de kan adsorbiera fler skadliga molekyler till sin yta än samma viktmängd stora partiklar. Experimentella studier har visat att råttor som utsatts för ultrafina partiklar har drabbats av sjukdomar och framförallt lungskador i större omfattning jämfört med råttor som exponerats för samma massmängd inandningsbara partiklar av större storlek (Donaldson, 1998). Längre tids exponering av mindre partiklar tycks öka förekomsten av bronkit, kronisk hosta och andra luftvägsbesvär. Epidemiologiska studier utvärderade av WHO visar att det finns ett klart samband mellan akuta luftvägseffekter och dygnsmedelvärden av partiklar även vid låga halter. Utvärderingen visar också att dödligheten ökar under dagar med hög partikelhalt och under de närmast efterföljande dagarna. Det handlar främst om dödsfall i hjärt- och

lungsjukdomar hos äldre personer. Omfattande studier av långtidsexponering av luftföroreningar i USA har dessutom visat att det finns ett samband mellan halten av fina partiklar och förkortad livslängd. Studierna visar också att hälsoeffekterna verkar bli allvarligare om andelen sura sulfatpartiklar är hög. Sulfatpartiklarna är betydligt hälsofarligare än svaveldioxid i gasform och kan tränga djupare ner i lungorna. I de svenska tätorterna är halterna av svaveldioxid som bildar sulfatpartiklar idag så låga att de ej längre utgör något större hälsoproblem. Liknande trend mot sjunkande halter finns också i övriga Europa, men i östra Europa finns fortfarande städer med höga halter (Toresson, 1997).

Ekologiska effekter. Aerosolerna kan höja den allmänna stressnivån så att skador uppstår på växter vid ytterligare stress, t ex på grund av vattenbrist, frost eller någon annan naturlig stressfaktor. Dramatiska ekologiska konsekvenser kan uppstå utan att allvarliga skador syns på de enskilda växterna. Förändrade livsbetingelser favoriserar arter som tål förändringen bra medan det missgynnar andra. Detta inverkar på sammansättningen av växter i ekosystemet och livsbetingelserna för de djur som lever av växterna. Indirekt påverkas rovdjuren och människan. *Direkta* skador på blad och barytytor i form av frätskador orsakas av sulfatpartiklar som i atmosfären omvandlats till svavelhaltiga syror. Direkta skador på vegetationen kan även orsakas av gaser (t ex ozon) som är viktiga i samband med partikelproduktion. Ett exempel på svaveldioxidens *indirekta* effekt är försurning av mark och vattendrag. Partiklar med svavelsyra och salpetersyra som deponeras påverkar markkemin och pH i marken. Vissa mikroorganismer som är viktiga för nedbrytningsprocesserna i jordmånen är känsliga för pH-förändringar och kan därmed slås ut. Deposition av nitratpartiklar från atmosfären bidrar till olika typer av övergödningseffekter. När tillgången på kväve ökar växer växterna snabbare till en början, men ganska snart uppstår brist på något annat näringsämne t ex magnesium, kalium eller fosfor. Detta har växterna svårare att klara av och drabbas då av bristsjukdomar (Bohgard, 1994). Överflödigt kväve som ej tas upp av vegetationen dräneras ut i åar och hamnar slutligen i havet längs kusterna där algblooming med syrebrist som följd kan uppstå under varma somrar.

2. METOD

Den ursprungliga tanken med aerosolmätningarna var att mäta partikelkoncentrationer på ett 20-tal olika punkter i och strax utanför Lund för att på så vis kunna jämföra olika mätstationers mätdata. Resultatet skulle i sådana fall kunna presenteras i form av en karta där värden interpoleras fram mellan de kända mätpunkterna för att ge en bättre bild över partikelkoncentrationerna i området. Detta visade sig i dagsläget tyvärr vara omöjligt att genomföra då DMPS-mätsystemen (Differential Mobility Particle Sizer) är extremt dyra att tillverka och på grund av att ett enskilt system kräver ständig uppsikt. Istället upprättades endast en mätstation och av praktiska skäl i närheten av fysiska institutionen i central Lund, där det fanns tillgång till strömförsörjning, kompressor och pump. Aerosolmätningen kom därför istället att handla om aerosolernas dygnsvariationer i en mätpunkt med tillägget att undersöka aerosolens långväga transport fram till mätstationen.

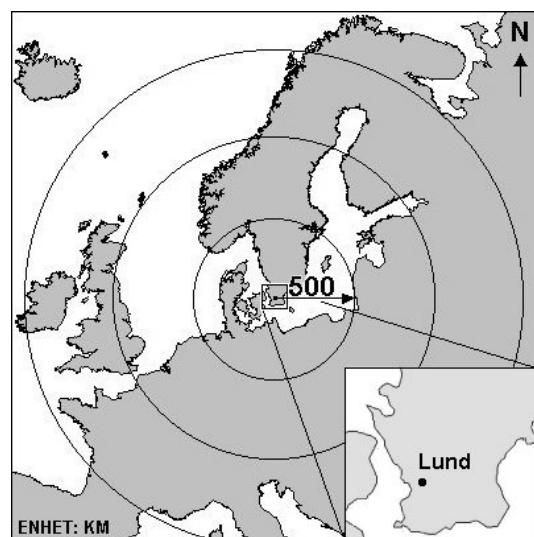
2.1. Strategi

För att lösa uppgiften var strategin att 1) samla in aerosoldata med hjälp av ett DMPS-system och 2) samla in meteorologiska data från en närliggande väderstation för att utifrån dessa dra slutsatser om eventuella dygnsvariationer i partikelhalterna. Strategin innefattar även att 3) använda trajektoriedata från en kanadensisk källa och med dessa undersöka aerosolernas långväga transporter och försöka lokalisera varifrån partiklarna kommer ur ett större regionalt perspektiv. Strategin visade sig fungera även i praktiken. Efter en månads förberedelser i laboratorium med bl a montering, kalibrering och programmering av mätinstrumenten inleddes den atmosfäriska mätningen i början av oktober 1998 för att avslutas under senare delen av december samma år. Den "skarpa" aerosolmätningen kom dock inte igång förrän vid mitten av oktober, eftersom DMPS-systemet måste rengöras och provköras på plats. Bearbetning och konvertering av datamaterialet pågick kontinuerligt under mätningarna och fortsatte en bit in i januari 1999. Utvärderingen som syftar till att försöka dra korrekta empiriska och statistiska slutsatser av det samlade datamaterialet påbörjades i januari 1999 och avslutades i slutet av mars då en sammanställning över arbetet upprättades och resulterade i denna rapport.

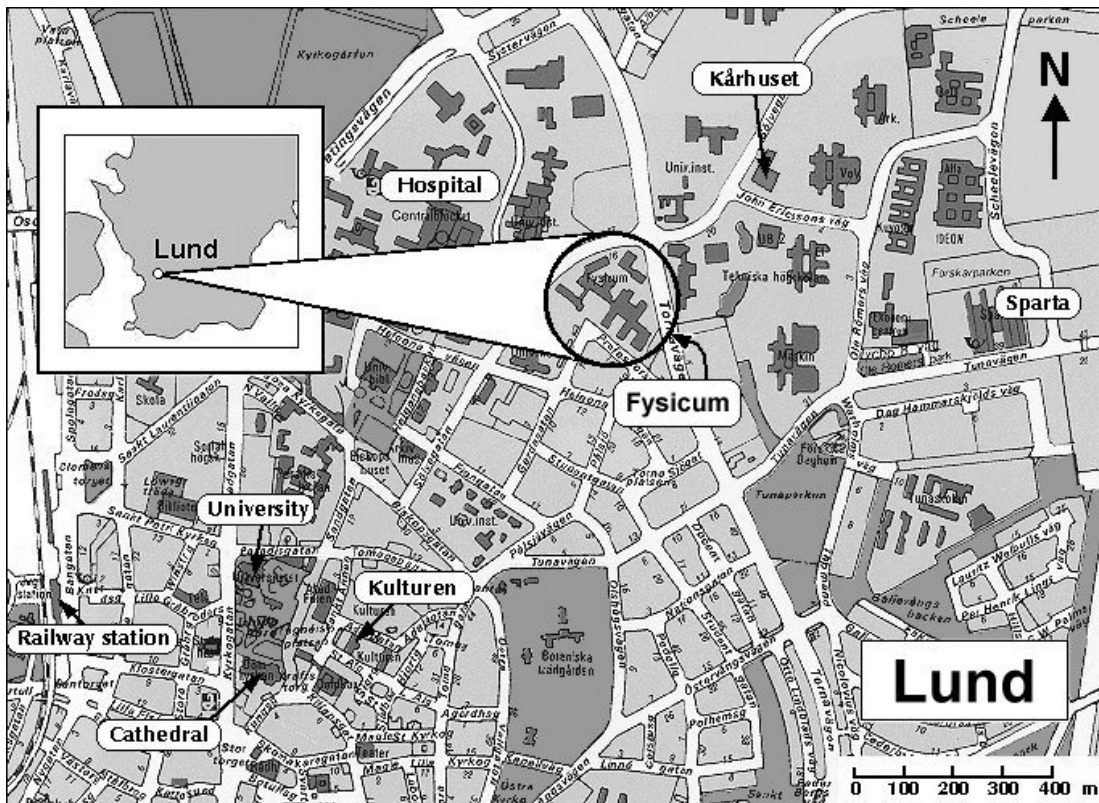
2.1.1. Mätstation och datainsamling

Mätstationen upprättas i Lund, Sveriges tolfte största stad med drygt 97 000 invånare (SCB, 1998). Närmast liggande större städer är Malmö (251 000 inv) på ungefär 20 km avstånd och Köpenhamn (1,3 miljoner inv) på ungefär 50 km avstånd. Då den dominerande vindriktningen under hösten normalt är sydväst till västlig kommer mätpunkten ligga väl inom den plym av luftföroreningar som dessa storstäder genererar. Ur ett större perspektiv kan även luftföroreningar från Centraleuropa komma att inverka på mätningarna (figur 4).

Figur 4. Mätstationens geografiska läge i regionen.



Mätstationen består av dels ett DMPS-system som registrerar atmosfärens partikelantal och partikelkoncentrationer, dels en meteorologisk mätstation som mäter olika meteorologiska faktorer. Samtliga mätinstrument monterades på fysiska institutionens tak i centrala Lund (figur 5). Höjden över markytan är ungefär 13 meter, vilket får anses som en relativt bra bit ifrån de närmast lokala partikelkällorna kring och i byggnaden, som t ex rökpausrutor, entrédörrar med inomhusluft etc. Den omedelbara omgivningen kännetecknas av kringliggande bebyggelse och vägar med under dagen livlig biltrafik. Det omgivande landskapet utanför Lunds stad kännetecknas av vidsträckt slätter med till största delen åkermark. Datainsamling sker fortlöpande under mätningens gång i två skilda datorer. DMPS-systemet laddar ner partikelrådata var 15:e minut, medan meteorologisk rådata laddas ner var 5:e respektive var 30:e minut beroende på vilken sensor som skickar datan.

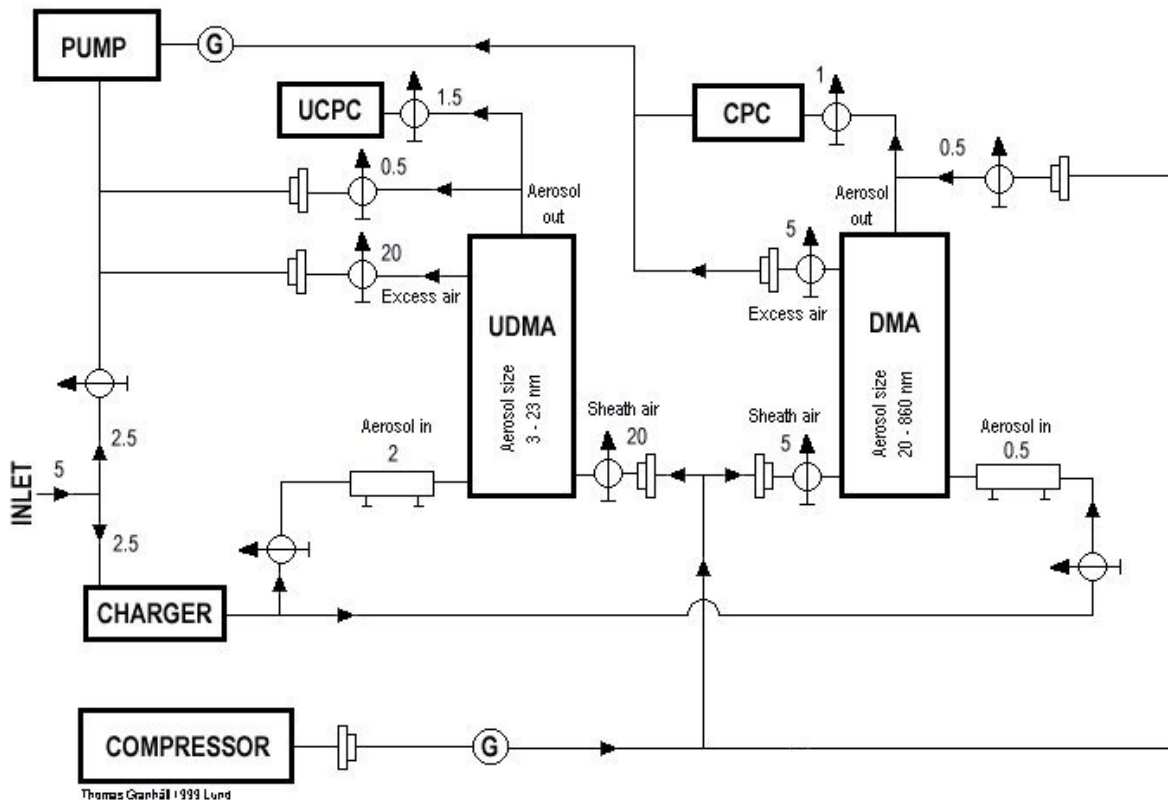


Figur 5. Översiktskartan visar var i Lund mätningarna ägde rum hösten/vintern 1998. Lokaliseringen kännetecknas av en typisk urban miljö med livlig fordonstrafik i omgivande vägnät.

2.2. Mätinstrument

2.2.1. DMPS – Differential Mobility Particle Sizer

DMPS:en är ett verktyg som används flitigt runt om i världen för att kunna bestämma storleksfördelningar på partiklar med storlekar under 1 μm . DMPS-systemet vid Fysicum i Lund består av en förimpaktor, en bipolär diffusionsladdare, en DMA, en UDMA, en CPC, en UCPC. Till systemet kopplas dessutom en kompressor, en pump och ett 3-stegs filter (figur 6).



Figur 6. Schematisk bild över uppbyggnad och luftflöden i ett DMPS-system. Laddaren (CHARGER) skapar en laddningsfördelning genom att ladda partiklarna med ett radioaktivt ämne. Analysatorerna (DMA och UDMA) används därefter för att samla in partiklar med en viss elektrisk mobilitet. Kondensationskärneräknarna (CPC och UCPC) används för att mäta koncentrationen av antalet partiklar med en viss bestämd elektrisk laddning. I systemet finns även en pump och kompressor för att erhålla konstanta flöden.

Analysatorn eller den sk DMA:n (Differential Mobility Analyser) är hjärtat i DMPS-systemet (bilaga 1). DMA:n består av en central elektrod inuti en vertikal cylinder och dess funktion är att dela upp luftburna partiklar med hänsyn till deras elektriska mobilitet. Innan en uppdelning kan åstadkommas måste aerosolerna ledas in genom en bipolär laddare. Den bipolära laddaren skapar en väldefinierad laddningsfördelning genom att ett radioaktivt ämne (^{85}Kr) ger partiklarna en bestämd laddning så att jämvikt uppstår. Inuti DMA:n skjuts sedan de laddade aerosolerna in i en partikelfri luftström, det sk omslutningsflödet (sheath air). DMA:n fungerar nu som en kondensator där den till en negativ spänningskälla anslutna elektroden drar till sig positivt laddade partiklar medan negativt laddade partiklar rör sig mot den yttre jordade cylindern. Den unika elektriska mobiliteten hos de enskilda partiklarna resulterar i att deras respektive banor delas upp och når centrumelektroden vid olika punkter. Genom en smal skåra på centrumelektroden extraheras partiklar med en distinkt elektrisk mobilitet. Den

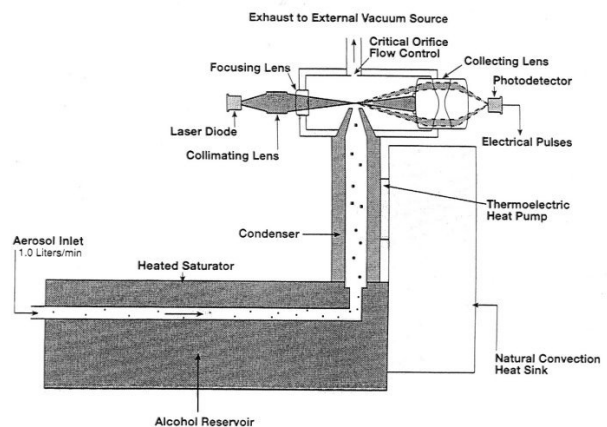
erhållna aerosolen innehåller huvudsakligen enkelladdade partiklar, men även icke önskade större partikelstorlekar med många laddningar. Hur stor andelen de mångladdade partiklarna utgör kan emellertid beräknas. Utan att gå djupare in på beräkningsförfarandet kan den undersökta aerosolens mobilitetsfördelning beräknas genom att räkna det faktiska antalet partiklar med en partikelräknare för varje mobilitetsfraktion.

Resultatet av DMPS mätningen blir en elektrisk mobilitetsfördelning. Eftersom systemet mäter partiklarnas elektriska mobilitet, måste datamaterialet konverteras för att korrekt partikelstorleksfördelning ska kunna erhållas. Vid datakonverteringen, som sker med hjälp av mjukvaran LabView (kapitel 2.3.1), tas hänsyn till dels överföringsfunktionen från DMA:n, dels CPC:ns (partikelräknaren) registreringseffektivitet och slutligen fördelningen av partikelladdningen. För mer ingående beskrivning av datakonverteringen finns muntlig information att hämta hos forskare Chang på avdelningen Kärnfysik vid Fysicum i Lund. Noggrannheten i DMPS-systemet avgörs huvudsakligen av hur pass välkalibrerad CPC:n är.

2.2.2. CPC – Condensation Particle Counter

CPC:n är en partikelräknare som beräknar enstaka partiklar genom att registrera varje enskild partikels ljusspridning som en separat puls. CPC:n mäter koncentrationen av partiklar med en diameter på 14 nm eller större (CPC model 3010).

Partiklarna detekteras optiskt genom att först låta butanol kondenseras på partiklarna, vilket resulterar i att de växer till mera lätt detektbara droppar (figur 7). Därefter leds dropparna genom en laser som via en fotodetektor registrerar partikel för partikel. CPC:ns noggrannhet bestäms till största delen av den storlekskalibrering som ska utföras före varje mätning. En vanlig kalibreringsaerosol består av monodispersa sfäriska polystyrenpartiklar. Förutom att luftflödet måste ställas in för att registrera korrekta värden är det viktigt att kontrollera optiken i instrumentet. Denna måste vara intakt för att överhuvudtaget ge rimliga värden.



Figur 7. Principiell uppbyggnad och flödesschema för kondensationspartikelräknare CPC modell 3010 (TSI, 1994).

CPC:n storlekskalibrerades av forskarpersonal på Fysicum. Detta faktum tillsammans med vetskapen att partikelräknaren är ett välbeprövat instrument som utnyttjas flitigt vid partikelräkning runt om i världen gör att den anses besitta försumbara fel. Det bör dock påpekas att vid registrering av höga partikelkoncentrationer händer det då och då att två eller flera partiklar befinner sig samtidigt i det undersökta luftflödet. Pulserna som dessa partiklar genererar överlappar varann och räknas av CPC:n som om de vore en enda partikel. Enligt tillverkaren av CPC:n är denna felkälla av procentuellt mycket liten betydelse, men måste ändå tas i beaktande särskilt vid registreringen av de allra minsta partikelstorlekarna där noggrannheten är som sämst. I DMPS-systemet ingick även en UCPC:n (Ultrafine Condensation Particle Counter). Partikelräknaren fungerar på liknade sätt som CPC:n med den skillnaden att den kan registrera ultrafina partiklar med en storlek ner till 3 nm i diameter. Instrumentet kalibrerades och dess felkällor anses vara försumbara för flertalet partikelstorlekar. Liksom för CPC:n är noggrannheten hos UCPC:n sämst i registreringen för de allra minsta partiklarna.

2.2.3. Väderstation

Väderstationen från Delta-T Devices är ett komplett och automatiskt system av instrument för registrering och mätning av väderlek. I denna undersökningen är det tänkt att stationens sensorer ska mäta lufttemperatur, relativ fuktighet, lufttryck, vindhastighet och vindriktning. En logger startar registreringen och kontrollerar sensorernas funktion fortlöpande. Mätvärdena lagras temporärt i loggerns minne där ungefär en månads mätningar får plats ifall väderstationens fulla kapacitet utnyttjas. Lagrad data kan när som helst under mätningens gång överföras till t ex bärbar PC. Under detta arbete är loggern fast uppkopplad till en stationär PC. Mätnoggrannheten hos mätkomponenterna i väderstationens avgörs av den kalibreringen som utförts av tillverkaren vid leveransen, samt av att komponenterna monteras på ett korrekt sätt av användaren. Medföljande utförda och undertecknade kalibreringsprotokoll ansågs vara fullt tillförlitliga varför ingen ytterligare kalibrering utfördes. Enligt bifogade kalibreringskurvor kommer de eventuella mätfel som kan uppstå under normala väderleksförhållanden vara så små att de kan anses vara försumbara. Montering och inställning av mätapparaturen utfördes enligt medföljande instruktioner.

2.3. Programvara och datakällor

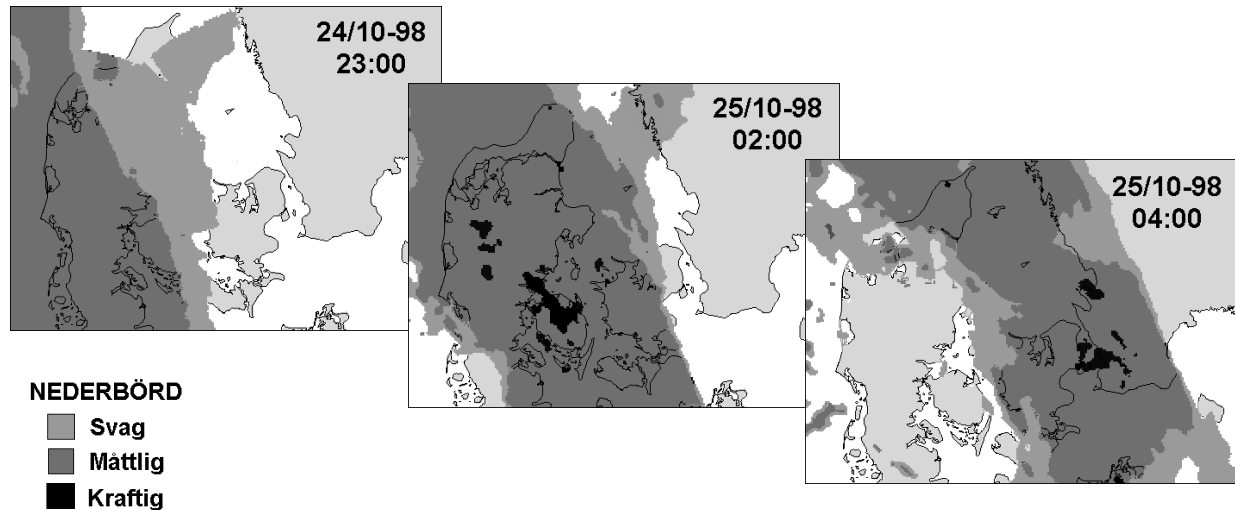
2.3.1. Mjukvara

I arbetet används olika typer av mjukvara eftersom de olika mätningarna sinsemellan kräver olika typer av bearbetning. Till DMPS-systemet används programmet LabView (version 5.0) från National Instruments Products för insamling och konvertering av aerosolmätningarna. LabView är en programutvecklings applikation som påminner om utvecklingssystem såsom C och BASIC. Skillnaden är den att LabView använder sig av ett programmeringsspråk som är grafiskt baserat, istället för textbaserat språk med långa koder. Med LabView skapas program i form av blockdiagram. Forskare på Fysicum har med hjälp av LabView utvecklat program som bl a styr spänningen i DMA:n så att en elektrisk mobilitetsfördelning erhålls, samt ett annat program som konverterar datan till en partikelstorleksfördelning. Väderstationens medföljande program Delta-T Logger PC Software (version LS2e) utnyttjas enbart för att konvertera bin- till användbara dat-filer för vidare behandling i annan mjukvara.

Kalkylprogrammet Excel (version 97 SR-1) från Microsoft utnyttjas för att presentera mätresultat från DMPS-systemet i form av t ex antals- och storleksfördelningar. Till flertalet statistiska beräkningar används emellertid statistikprogrammet Minitab (version 11.11) från Minitab Inc. Stanford Graphics (version 3.0b) från Visual Numerics Inc är ett kalkylprogram som i många avseenden har många drag gemensamma med Microsofts EXCEL, men med den skillnaden att det finns större valmöjligheter att presentera mätresultat i 2D- och 3D-diagram. Stanford Graphics används huvudsakligen för att presentera förändringarna i aerosolkoncentrationen med tiden. Slutligen används programmet Trajplot (version 2.012a) från Atmospheric Environment Service för att empiriskt studera trajektorier.

2.3.2. Nederbördsdata

Förutom det datamaterial som samlas in med hjälp av DMPS-systemet och väderstationen utnyttjas nederbördsdata från SMHI i Malmö och klassindeldad nederbördsintensitet från Danska Meteorologiska Institutet (DMI). Nederbördsdatan från DMI samlas in dagligen via internet och baseras på radarbilder där nederbördens relativa intensitet avläses i kartform (figur 8).



Figur 8. Exempel på nederbördsdata över Öresundsregionen i slutet av oktober månad. Bilderna visar nederbörden i form av regn, snö, hagel, mm. Informationen är hopsatt av data från DMI:s tre radarstationer i Kastrup, Sindal och på Rømø (modifierade figurer efter DMI, 1998).

2.3.3. Regional lufttrycksdata

Aktuella lufttrycksvärden är en nödvändighet i den dagliga flödeskontrollen av DMPS-systemet, då lufttrycket ingår som en viktig parameter i partikelmobilitetsberäkningarna. Förutom mätstationens lufttrycksdata utnyttjades lufttryckskartor från Ungern för att få en bättre bild över lufttryckssituationen i regionen under mätningarnas gång (bilaga 2). Det kom senare att visa sig denna källa var mer tillförlitlig än mätstationens barometer som efter en månads användning började registrera felaktiga värden.

2.3.4. Trajektorier

För att empiriskt kunna spåra de uppmätta aerosolernas ursprung användes trajektorier från Atmospheric Environment Service (AES) i Kanada (bilaga 3). En trajektoria visar hur ett luftpaket rört sig i atmosfären under en viss tidsperiod. Trajektorierna är beräknade för 00 GMT, 06 GMT, 12 GMT, 18 GMT, och utgörs av en accelerationsmodell med konstanta isobarer, där det önskade luftpaketet kan följas 120 timmar (5 dygn) bakåt i tiden (AES, 1998). Enligt AES ökar osäkerheten i trajektorierna successivt ju längre bak i tiden vi tittar. Trajektoriedata som sträcker sig längre tillbaka än fem dagar i tiden anses besitta så stora osäkerheter att de överhuvudtaget ej kan användas.

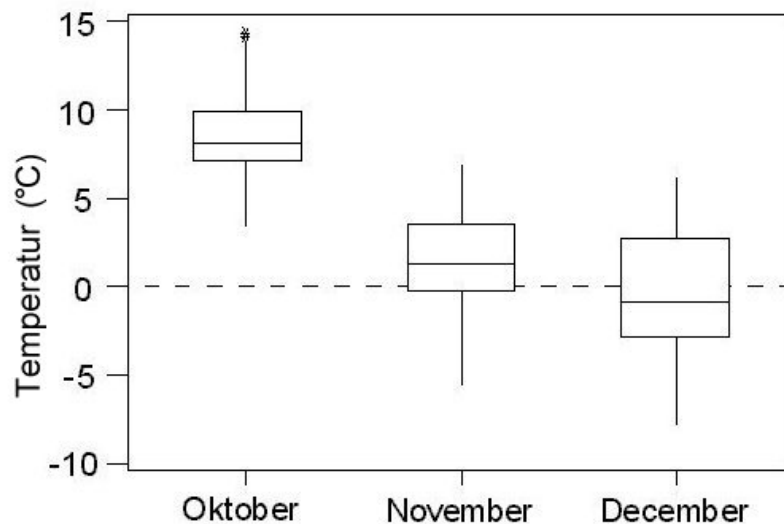
3. MÄTRESULTAT OCH ANALYS

Allmänt kännetecknades mätperiodens väderlek av mulet väder med ovanligt riklig nederbörd i oktober. Det blev snabbt kallt i november och kylan höll i sig i stort sett genom hela december. Vindarna var till en början sydvästliga men övergick i november till att komma huvudsakligen från nordost. I december var vindriktningen tämligen varierande. Under hela mätperioden kännetecknades fordonstrafiken av en morgonrusning (till jobbet) och en eftermiddagsrusning (hem igen). Trafiken under helgerna var i regel mindre intensiv. Totalt under mätperiodens 75 dagar insamlades 298 539 mätvärden. Enbart DMPS-systemet samlade in 256 139 stycken användbara aerosoldata. Den meteorologiska mätstationen samlade in totalt 26 896 stycken användbara meteorologiska data. Av dessa var 20 172 stycken vinddata, 3 362 stycken temperaturdata och 3 362 stycken luftfuktighetsdata. Tekniska problem under mätperioden gjorde att ingen vindhastighetsdata kunde registreras.

3.1. Meteorologiska resultat

3.1.1. Temperatur

Temperaturen under den drygt 10 veckor långa mätperioden fluktuerade mellan maxvärdet 14,3 °C och minvärdet -7,9 °C (bilaga 4). Medeltemperaturen i oktober låg på 8,6 °C, i november på 1,3 °C och i december på -0,3 °C (figur 9). Mätperiodens lägsta temperaturer noterades ligga relativt samlade i senare delen av november och i början av december. De låga temperaturerna i november och december resulterade ofta i snö då nederbörd föll.



Figur 9. Respektive boxplot representerar mätperiodens temperaturvariationer månadsvis. Lägg märke till att temperaturen var avsevärt lägre under både november och december jämfört med oktober.

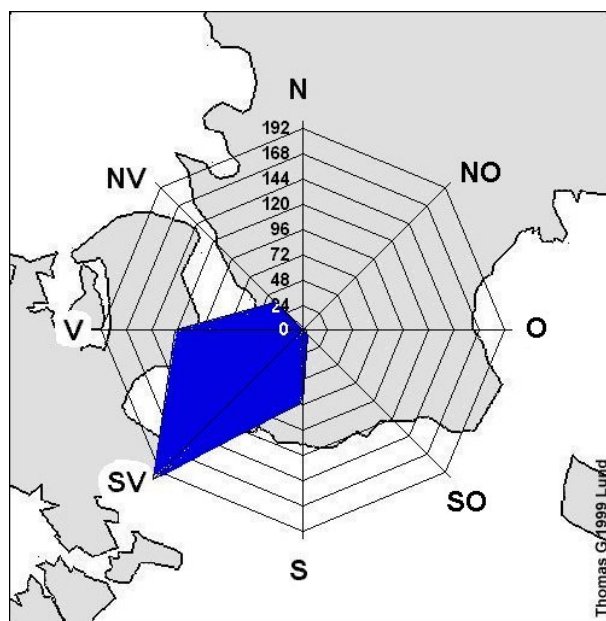
3.1.2. Vind

De lokala vindriktningarna i Lund varierade under mätperioden. En jämförelse mellan de olika månaderna visar att sydvästliga vindar klart dominerar oktober månad, medan motsatta vindriktningar var förhärskande i november dvs vindar med ost- till nordostlig riktning (tabell 1). I december månad var vindriktningen högst varierande. De till en början dominerande nordliga vindarna ersattes med sydliga och sydvästliga vindar. De lokala vindriktningarna visar dessutom tydliga samband med uppmätta temperaturer. Variationerna i vindriktningarna återspeglar de uppmätta temperatur variationerna, där nord- och nordostliga vindriktningar i allmänhet är kallare än syd- och sydostliga vindar.

Tabell 1. Vindriktningens procentuella andel under mätperiodens olika månader. En jämförelse mellan olika förhärskande vindriktningar under mätperioden (981013-981222). Lägg särskilt märke till de motsatta vindförhållandena mellan oktober och november.

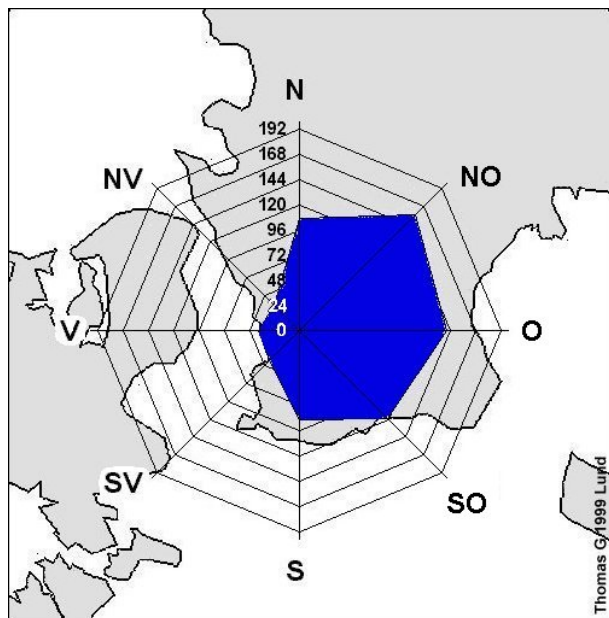
Vindriktning	Oktober	November	December
N	1	15	17
NO	0	22	5
O	0	20	7
SO	1	16	12
S	16	12	21
SV	46	6	20
V	28	5	9
NV	9	5	10
	100%	100%	100%

Vinddatamaterialet från oktober (981013-981030) omfattar 440 timmar. Under denna månad var den förhärskande vindriktningen sydvästlig (figur 10). Beräkningar visar att hela 39% (171 timmar) av vindarna denna månad var sydvästliga.



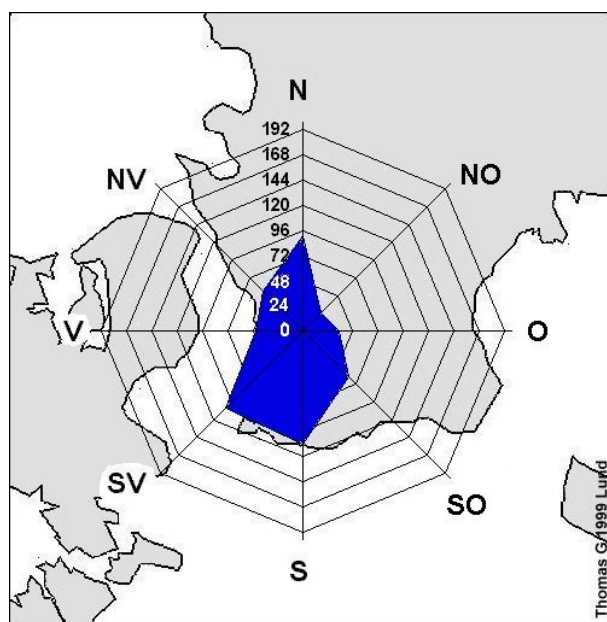
Figur 10. Vindrosen visar vindförhållandena i oktober månad. Skalan anger antalet timmar som vinden blåser. Sydvästliga vindar dominerar månaden.

Vinddatan från november (981101-981130) omfattar 720 timmar. Under denna månad vände vinden till att vara i huvudsak ost- till nordostlig (figur 11). Beräkningar visar att 39% (282 timmar) av november månads vindar kom ifrån dessa riktningar.



Figur 11. Vindrosen visar vindförhållandena i november månad. Skalan anger antalet timmar som vinden blåser. Nordostliga och östliga vindar dominerar månaden.

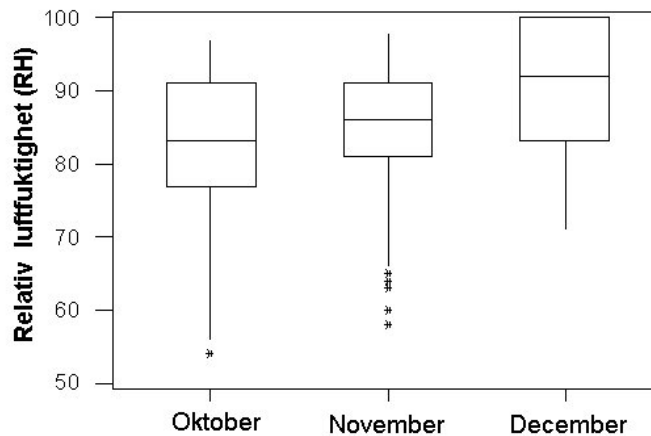
December månads vinddata (981201-981222) omfattar 521 timmar. Vindriktningarna är mer omväxlande denna månad, med en dominans av sydliga och sydvästliga vindar (figur 12). Månaden inleds dock med nordliga vindar som är direkta "kvarlevor" från vindförhållandena i november månad.



Figur 12. Vindrosen visar vindförhållandena i december månad. Skalan anger antalet timmar som vinden blåser. Månaden kännetecknas av omväxlande nordliga och sydliga vindar.

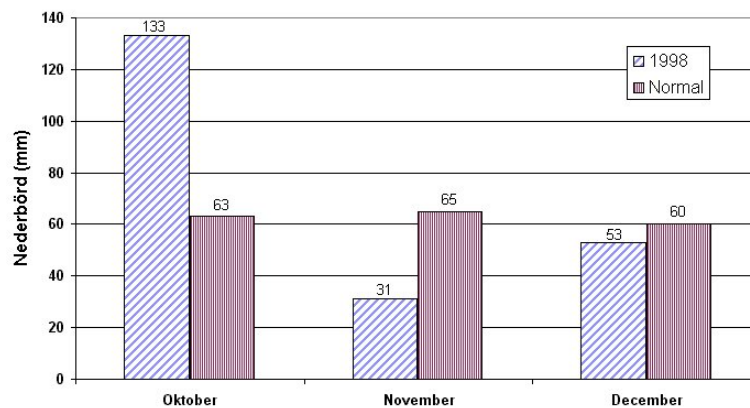
3.1.3. Relativ luftfuktighet och nederbörd

Den relativa luftfuktigheten ökade successivt under mätperioden (bilaga 5). Beräkningar visar att den genomsnittliga luftfuktigheten i oktober var 83%, och att variationerna inom månaden var stora (figur 13). Minvärdet i oktober var 54% och maxvärdet var 97%. I november var den genomsnittliga luftfuktigheten ungefär den samma (85%) men variationerna i materialet var mindre. Minvärdet i november var 58% och maxvärdet var 98%. I december ökade den genomsnittliga luftfuktigheten emellertid till 91%, samtidigt som maxvärden på 100% uppnåddes under flera tillfällen. Minvärdet var 71%.



Figur 13. En månadsvis jämförelse av den relativa luftfuktigheten. Luftfuktigheten ökade successivt under mätperioden. Störst variation uppmättes i oktober. I december var den relativa fuktigheten 100% vid flera tillfällen.

Enligt SMHI (Malmö) var nederbörden i oktober mer än dubbelt så riklig jämfört med vad som är normalt (figur 14). November månad blev ovanligt nederbördsfattigt då det regnade knappt hälften så mycket än normalt. Nederbörsmängderna i december blev ganska normala för perioden (SMHI, 1998).



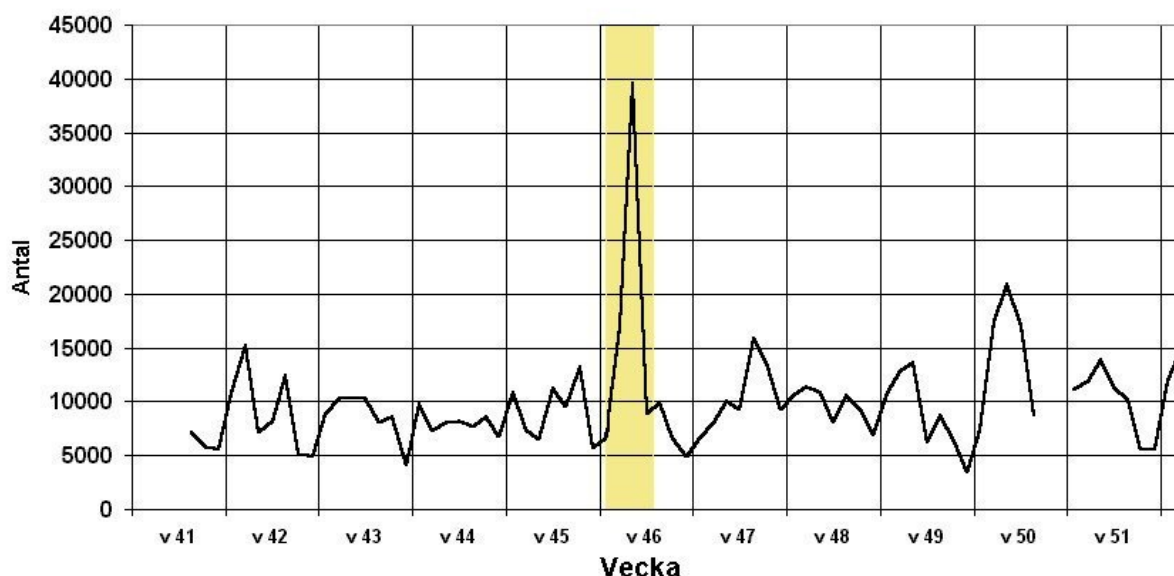
Figur 14. En jämförelse mellan mätperiodens nederbörsmängder och för månaderna normala mängder. Observera att nederbördsdatan representerar mätningar gjorda av SMHI i Malmö och återspeglar följaktligen

inte mätstationens exakta nederbördsförhållanden. Datan ger ändå en bra bild över nederbörds situationen i mätstationens omedelbara närhet (SMHI, 1998).

3.2. Aerosolmätningens resultat

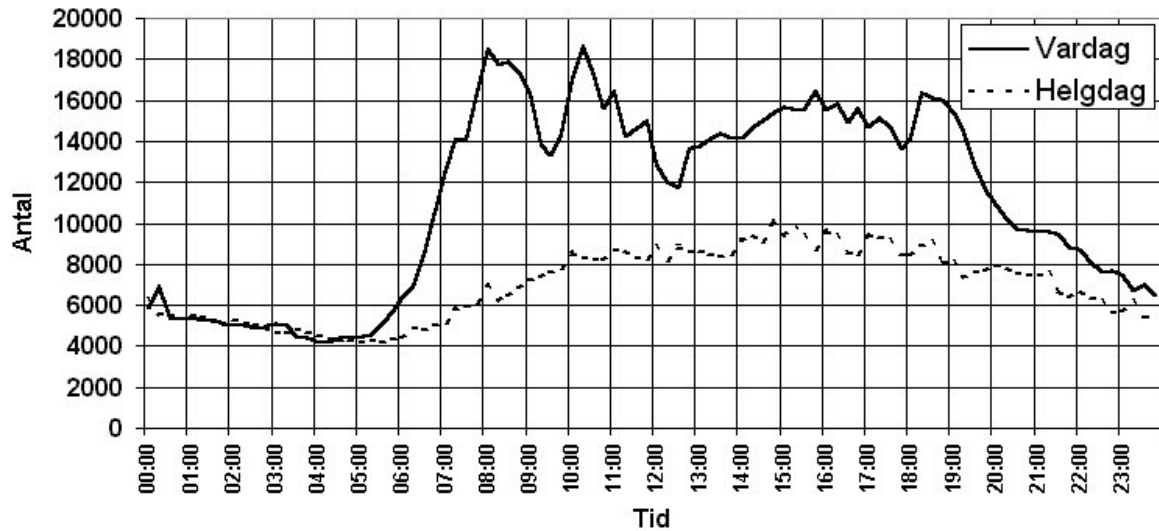
3.2.1. Partikelantalets variation med tiden

Partikelregistrering utfördes varje kvart under dygnet över hela mätperioden. Sett över hela mätperioden låg dygnsmedelvärdet oberoende av partikelstorlek på nästan exakt 10 000 uppmätta partiklar varje kvart. Mätdata uppvisar i detta längre tidsperspektiv ett tydligt återkommande mönster med lägre medelvärden under helgerna och en återkommande ökning i inledningen av varje ny vecka (figur 15). Vardagarna uppmätte i genomsnitt 60% fler partiklar jämfört med under helgerna. Anomalin i mätdata under vecka 46 den 11/11 diskuteras mer utförligt i kapitlet angående felkällor. Det bör dock redan nu noteras att anomalin i den påföljande analysen kommer att elimineras från data för att ge en bättre bild över mätperiodens faktiska partikelförhållanden.



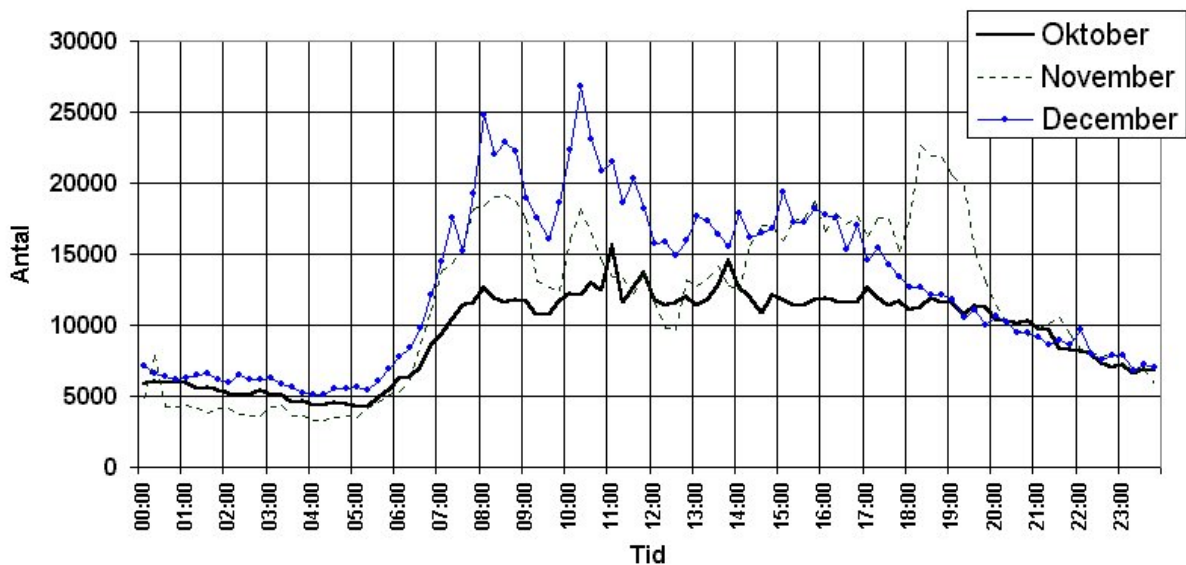
Figur 15. Dygnsmedelvärden på totala antalet uppmätta partiklar oberoende av partikelstorlek varje kvart för hela mätperioden. Sett över hela mätperioden låg dygnsmedelvärdet på ganska exakt 10 000 partiklar varje kvart. Notera anomalin i vecka 46 med dygnsmedelvärdet på 40 000 partiklar. Observera även databortfallet i slutet av vecka 50 då DMPS-systemet på grund av tekniska problem ej kunde registrera partiklar.

Mätperiodens genomsnittliga uppmätta partikelantal sett över ett dygn uppvisade som väntat högre värden under dagen och lägre under natten (figur 16). Vidare uppvisade de ljusa timmarna på vardagarna ungefär dubbelt så höga värden jämfört med motsvarande tidpunkter under helgdagarna (lördagar och söndagar). Vardagarna kännetecknas av kraftigt stigande partikelantal från tidig morgon kl 05:30 för att nå en topp kl 08:00 och ytterligare en topp kl 10:30. Mitt på dagen kl 12:30 sjunker partikelantalet. På eftermiddagen nås en topp kring kl 16:00 och kl 18:30. Under helgerna kan ingen markerad topp skönjas. Istället ökar partikelantalet långsamt och relativt konstant fram till kl 15:00 för att därefter avta lika långsamt mot kvällen.



Figur 16. Figuren visar hur mätperiodens genomsnittliga vardag respektive helgdag ser ut sett till antalet uppmätta partiklar varje kvart oberoende av storlek. Lägg märke till hur partikelantalet i atmosfären under vardagen börjar öka från ungefär klockan 05:30 för att sedan ligga kring 16 000- nivån fram till kl 18:30 då antalet partiklar successivt avtar. Topparna upp mot 19 000 partiklar ligger på morgonen kl 08:00 och på förmiddagen kl 10:30. Vid middagstid registreras ett mindre antal partiklar jämfört med dagens övriga ljusa timmar. Bottennivån på strax över 4 000 partiklar nås tidigt på morgonen omkring kl 04:00.

Partikelantalet under vardagarna i oktober var, oberoende av storlek, färre än i både november och december (figur 17). Vardagarna i december uppvisade generellt högst uppmätta partikelantal. I november mellan kl 18:00 och kl 20:00 registreras emellertid nästan dubbelt så höga värden.

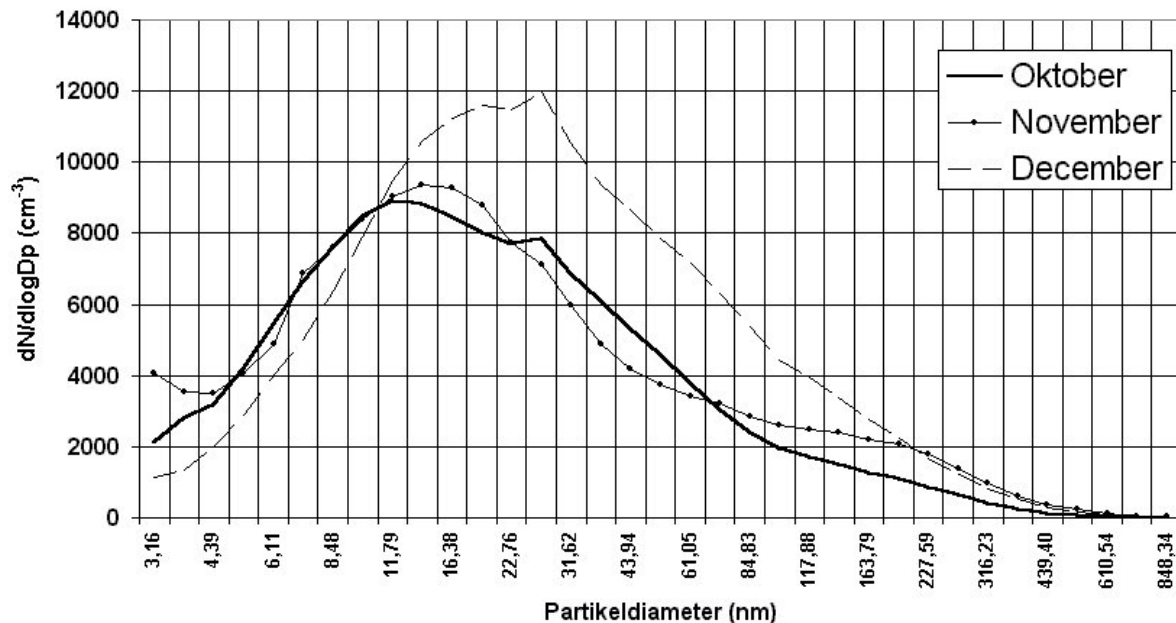


Figur 17. Vardagarnas genomsnittliga uppmätta partikelantal varje kvart uppdelad på mätperiodens olika månader. Den genomsnittliga vardagen i oktober uppvisar generellt lägre partikelantal än den genomsnittliga

vardagen i både november och december. Det genomsnittliga decemberdygnet uppvisar högst uppmätta partikelantal. Notera den osedvanligt höga toppen i novemberdatan mellan kl 18:00 och kl 20:00.

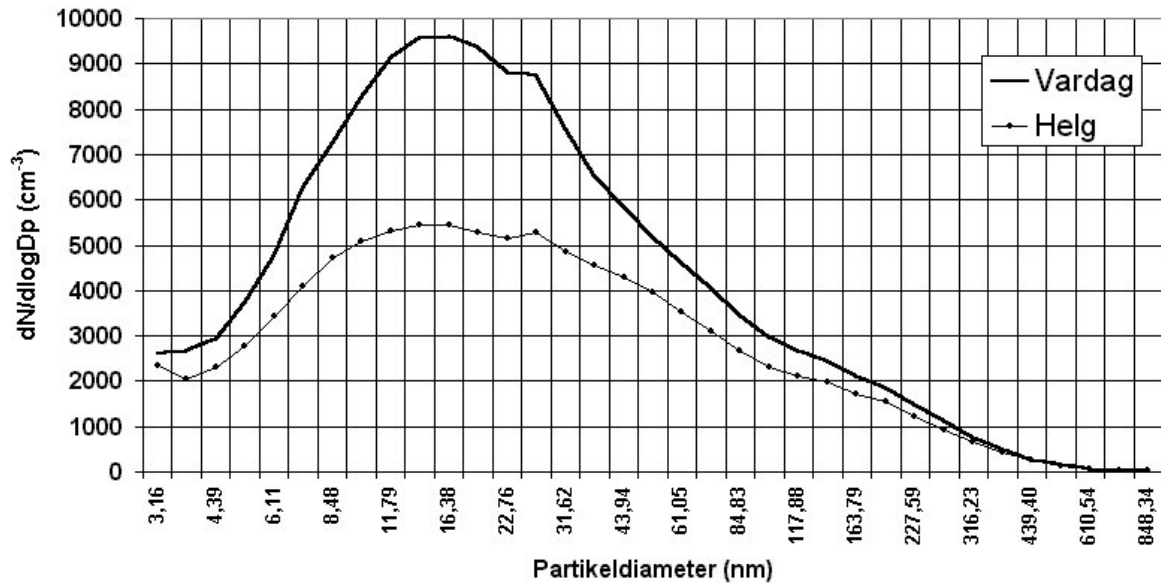
3.2.2. Aerosolernas storleksfördelning

Mätdata representerad som en storleksfördelning visar att koncentrationerna av de ultrafina aerosolerna dominerar oavsett månad (figur 18). De något lägre partikelkoncentrationerna i oktober och november följer varann ganska väl. I december låg de högsta koncentrationerna i genomsnitt på ungefär 12 000 partiklar/cm³ för partiklar med storlekar kring 23 nm. I november var den högsta partikelkoncentrationen ungefär 9 500 partiklar/cm³ för partiklar med en diameter på 14 nm. Motsvarande siffror i oktober var 9 000 partiklar/cm³ för partiklar med 12 nm:s diameter.

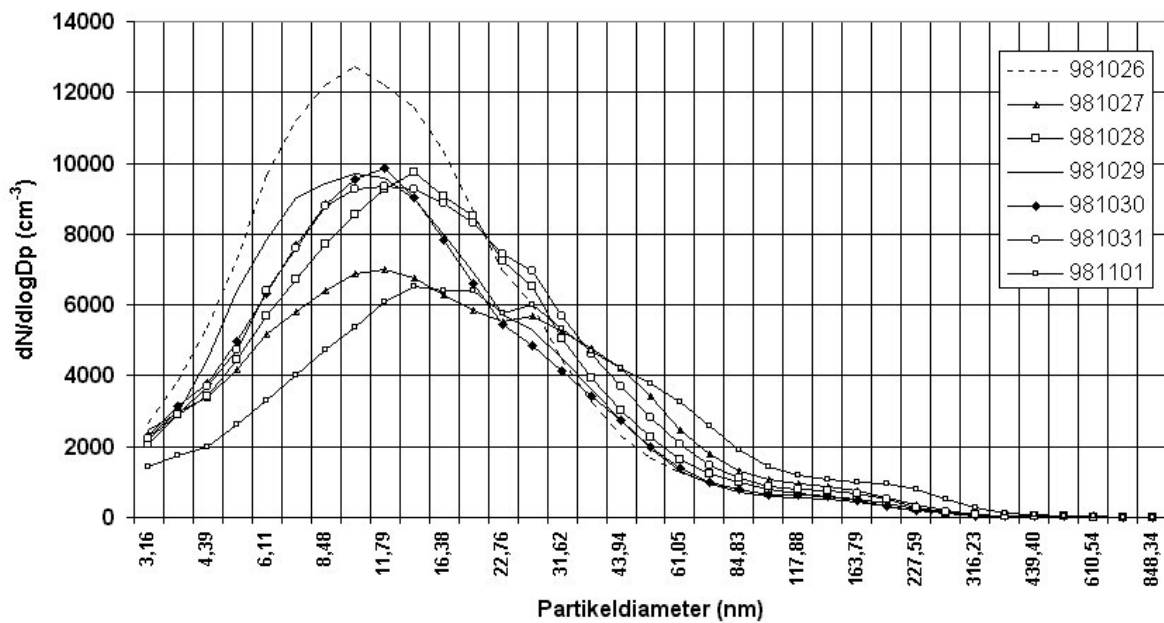


Figur 18. Logaritmisk storleksfördelning för den genomsnittliga partikelkoncentrationen (antal/cm³) under mätperiodens olika månader. Partikelstorleken är generellt större i december jämfört med tidigare månader. December besitter dessutom de högsta partikelkoncentrationerna över i stort sett hela registret. Notera "hacken" i kurvorna vid ungefär 23 nm där en överlappning sker mellan UDMA:n och DMA:n som beror på att respektive partikelregistreringar ej blivit korrekt justerade i förhållande till varandra. DMA:ns registrerade värden verkar genomgående vara något högre än UDMA:n. Denna felkälla återkommer fortlöpande genom hela materialet.

Partikelkoncentrationerna mellan vardag och helg i en storleksfördelning uppvisar stora skillnader (figur 19). Liksom för de tidigare redovisade uppmätta partikelantalen blir resultatet att partikelkoncentrationen är klart högre under vardagarna jämfört med helgerna. Mest markant är skillnaden inom storleksintervallet från 6 till 50 nm. Skillnaden mellan vardag och helg avtar därefter successivt för att i stort sett vara obefintlig vid partikelstorlekar större än 300 nm.



Figur 19. Den logaritmiska storleksfördelningen visar hur stor partikelkoncentrationen (antal/cm^3) var för respektive partikelstorlek under mätperiodens vardagar och helger (lördagar och söndagar). Vardagarna har högst partikelkoncentrationer vid 16 nm med 9 500 partiklar/ cm^3 . Helgdagarna har vid samma partikelstorlek en koncentration på 5 500 partiklar/ cm^3 . Vid partikelstorlekar större än 300 nm är skillnaden mellan helg och vardag i stort sett obefintlig.

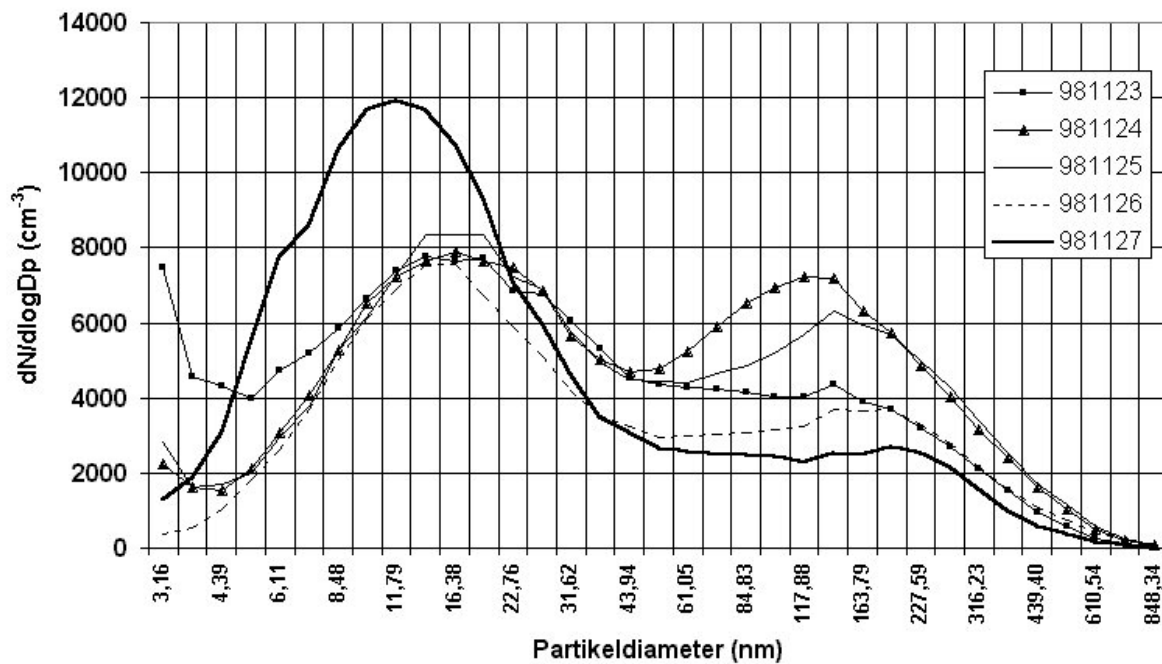


Figur 20. Några typiska genomsnittliga dygnsexempel på hur den logaritmiska storleksfördelningen såg ut under mätperioden. Y-axeln visar partikelhalten per cm^3 . Lagg märke till att koncentrationspucklarna ligger vid

ungefär 10 till 16 nm. En svag tendens till början på en ny koncentrationspuckel kan med god vilja skönjas vid ungefär 110 till 130 nm.

Huvuddelen av mätperiodens veckodagar kännetecknades i stort sett alla av **en** dominerande "koncentrationspuckel", den sk nukleerings moden kring 10 till 16 nm. Ett belysande exempel på detta utgör mätdata från vecka 44 i oktober (figur 20). Väderleken under dessa exempel dagar i oktober kännetecknades av sydvästliga till västliga vindar med riklig nederbörden den 27-28/10 då totalt 40 mm regn uppmättes (SMHI, 1998). Den relativa luftfuktigheten pendlade livligt mellan 65 till 95% och temperaturen fluktuerade mellan 6 och 8 °C.

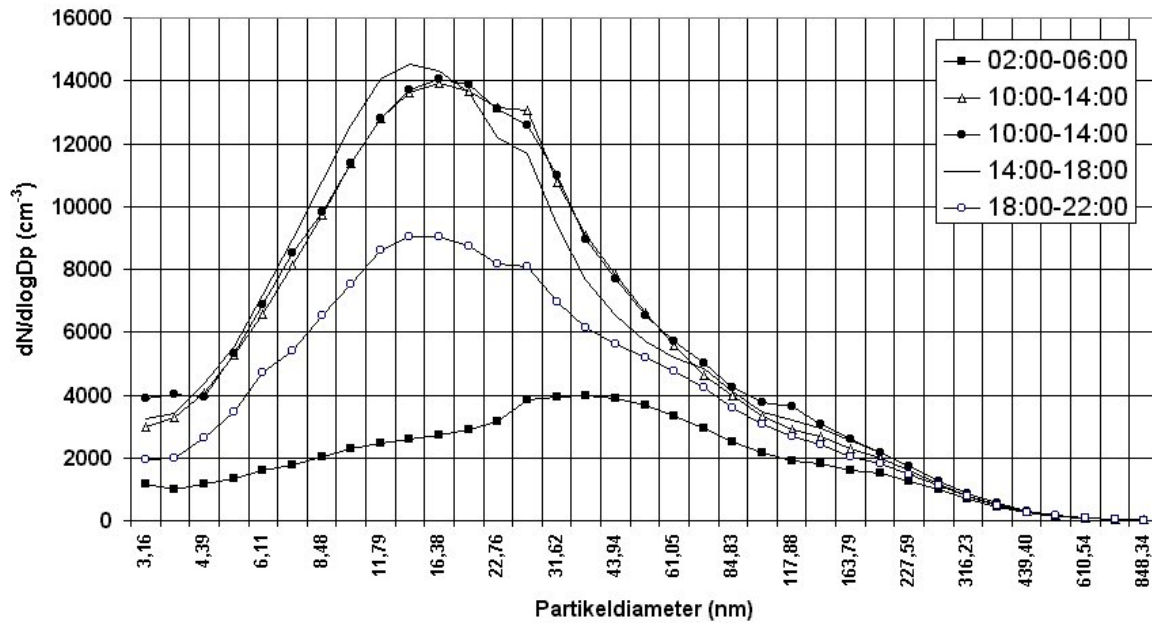
Under vissa veckor kunde emellertid **två** markanta koncentrationspucklar urskiljas i mätdatan. Det tydligaste exemplet finns i mätdata från slutet av november under vecka 48 (figur 21). Precis som tidigare återfinns nukleeringsmoden vid partikelstorlekar på ungefär 12 till 16 nm. Vid partikelstorlekar kring 100-230 nm finns emellertid ytterligare en koncentrationspuckel, den sk ackumuleringsmoden. Ackumuleringsmoden är under dessa veckodagar betydligt starkare än i det övriga datamaterialet. Väderleken under dessa exempeldagar i november kännetecknas av i huvudsak regionala sydostliga vindar med temperaturer strax under eller kring 0 °C. Den relativa luftfuktigheten var tämligen konstant och låg mellan 85 till 95%. Några få millimeter nederbörd uppmättes den 26/11 (SMHI, 1998).



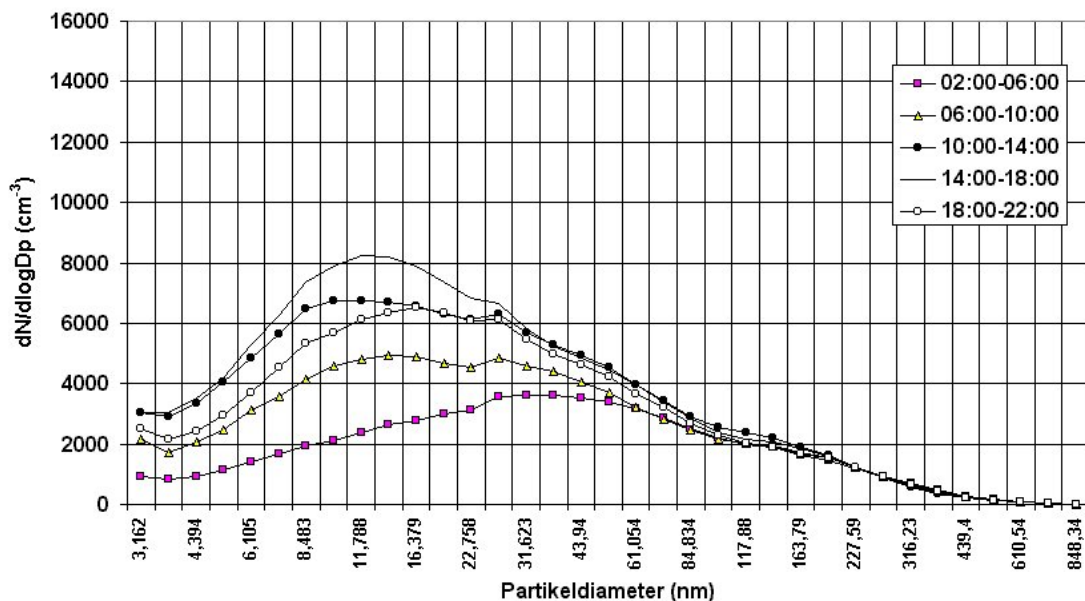
Figur 21. Genomsnittliga dygns exempel på hur den logaritmiska storleksfördelningen såg ut under vissa dagar av mätperioden (23-27/11-98). Y-axeln visar koncentrationen partiklar per cm^3 . Lägg märke till de två koncentrationspucklarna, en vid partikelstorlekar kring 12 till 16 nm och en annan kring 100 till 230 nm. De relativt höga partikelkoncentrationer som uppmätts vid storlekar mindre än 4 nm den 23/11 är behäftade med stora osäkerheter och bör därför tas med en nypa salt

Den genomsnittliga storleksfördelningen för olika klockslag under vardagarna uppvisar tydliga koncentrationsskillnader (figur 22). Under tidig morgon (02:00-06:00) är partikelhalterna låga oavsett partikelstorlek. En svag koncentrationspuckel kan skönjas vid

ungefär 40 nm på 4 000 partiklar/cm³. Under dagen (06:00-18:00) förskjuts puckeln mot partikelstorlekar vid 13 till 16 nm till att vara ca 14 000 partiklar/cm³. Partikelkoncentrationen i förhållande till storleksfördelningen är under dagen i stort sett identisk oavsett tidpunkt. På kvällen (18:00-22:00) sjunker de genomsnittliga partikelhalterna ned mot 9 000 partiklar/cm³. Koncentrationspuckeln ligger kvar kring 13 nm:s partikelstorlek.



Figur 22. Genomsnittliga exempel på hur den logaritmiska storleksfördelningen såg ut under olika klockslag för samtliga vardagar under mätperioden. Y-axeln visar koncentrationen partiklar per cm³. Ett tydligt mönster kan skönjas under vardagen. Partikelkoncentrationerna är högst under de ljusa timmarna och avtar successivt med kvällen för att bli som lägst under den tidiga morgonen. De höga koncentrationerna under dagarna består av mindre partikelstorlek än motsvarande koncentrationer under gryningen.

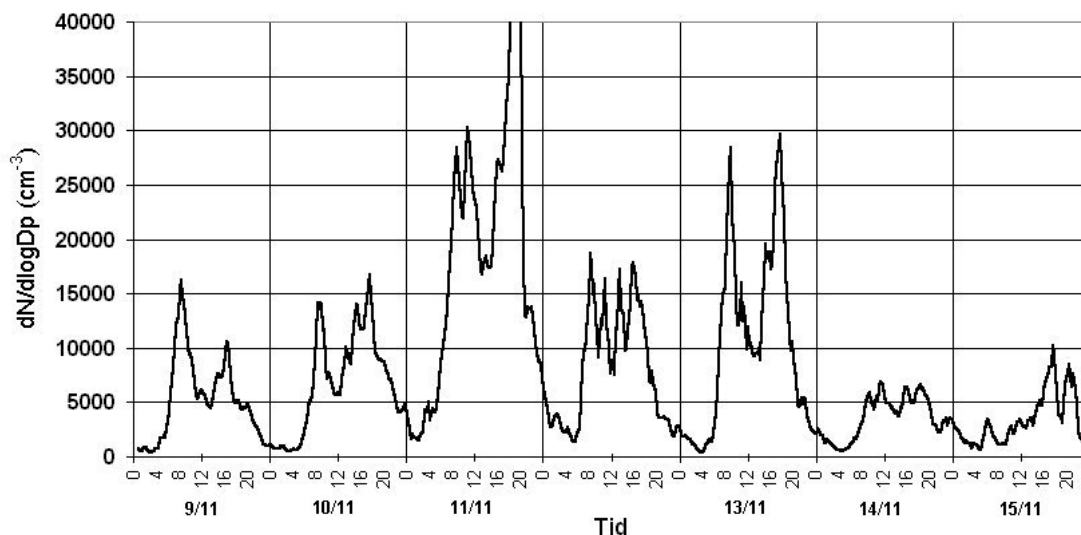


Figur 23. Genomsnittliga exempel på hur den logaritmiska storleksfördelningen såg ut under olika klockslag för samtliga helgdagar under mätperioden. Y-axeln visar koncentrationen partiklar per cm^3 . Som synes är partikelhalterna generellt lägre under helgerna. Liksom under vardagarna består koncentrationspucklarna under dagarna av mindre partikelstorlek än motsvarande koncentrationspuckel under gryningen.

Mätdata uppvisar något annorlunda mönster under helgerna (figur 23). Tidig morgon besitter som vanligt lägst partikelkoncentrationer, mindre än $4\,000$ partiklar/ cm^3 . Ett intressant faktum är att förmiddagen (06:00-10:00) ej på långa vägar når upp till vardagens partikelhalter. Endast $4\,500$ partiklar/ cm^3 vilket motsvarar knappt $1/3$ av motsvarande vardagsvärde. Högst partikelhalter nås på eftermiddagen (14:00-18:00) strax över $8\,000$ partiklar/ cm^3 . På kvällen (18:00-22:00) sjunker värdena åter för att ungefär motsvara halterna mitt på dagen (10:00-14:00). Koncentrationspucklarna ligger under dagen vid ungefär 12 till 16 nm, medan motsvarande storlek under tidig morgon ligger kring 40 nm.

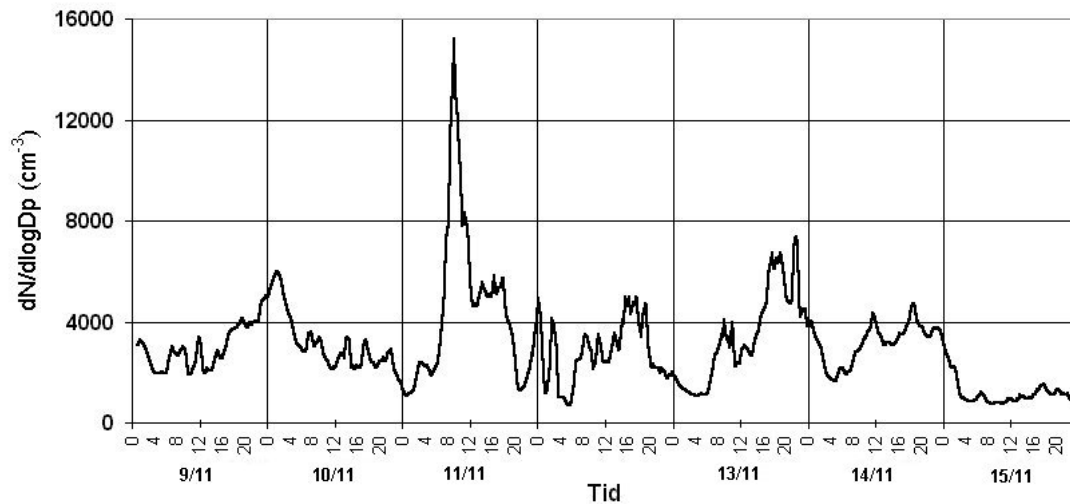
3.2.3. Modernas koncentrationsvariationer med tiden

Den genomsnittliga koncentrationen av partiklar inom respektive mod visade sig också variera på olika sätt, inte bara var för sig utan även sinsemellan. Inom nukleeringsmoden där vi till antalet hade störst antal partiklar uppvisade partikelkoncentrationerna ofta ett regelbundet mönster under veckans olika dygn (figur 24). I det valda typiska exemplet för mätperioden återkommer ständigt de lägsta partikelhalterna kring 500 partiklar/ cm^3 under nattetid och toppvärden ofta över $15\,000$ partiklar/ cm^3 under tidig förmiddag respektive sen eftermiddag. Vidare sjunker halterna rejält kring middagen. Söndagen (15/11) är i detta fall ett undantag då varken någon tydlig förmiddagstopp eller middagssvacka kan noteras. Lördagen har den absolut lägsta genomsnittliga partikelkoncentrationen på ungefär $3\,500$ partiklar/ cm^3 vilket kan jämföras med anomalin onsdagen den 11/11 då dygnsgenomsnittet var över $21\,000$ partiklar/ cm^3 , dvs 6 gånger högre.

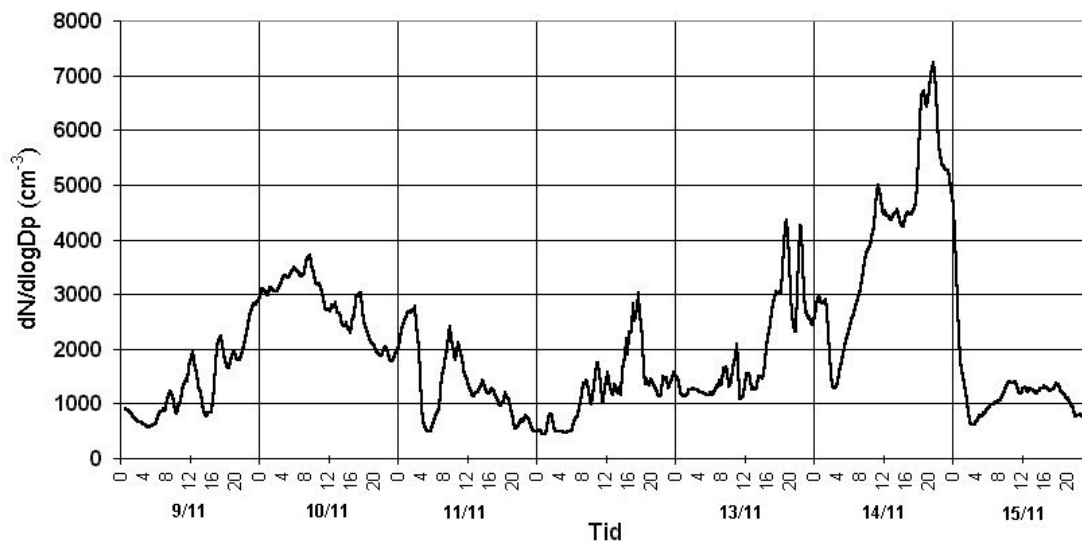


Figur 24. Exemplet visar den genomsnittliga koncentrationen av partiklar med storleken 14 nm (tillhörande nukleeringsmoden) under vecka 46. Koncentrationsvariationerna är förhållandevis mycket regelbundna sett över hela veckan om man bortser från att vardagarna har högre halter än helgerna. Nätterna har lägst partikelhalter och dagarna högst under förmiddagen respektive eftermiddagen. Under middagstid på vardagarna sjunker partikelhalterna. Notera mätperiodens mest extrema värden som infann sig onsdagen den 11 november.

Inom den sk Aitkenmoden uppvisar partikelkoncentrationen ett delvis annorlunda mönster jämfört med partiklarna i nukleeringsmoden (figur 25). För det första är den regelbundenheten över veckans olika dygn inte lika tydlig. För det andra är partikelkoncentrationerna totalt sett mycket lägre. Normalt verkar partikelhalten under veckan röra sig mellan 2 000 till 6 000 partiklar/cm³. En mer noggrann kontroll visar emellertid att de lägsta värdena sällan går ner under 1 000 partiklar/cm³ och är därmed nästan alltid dubbelt så höga som de lägsta halterna i exemplet inom nukleeringsmoden. De högsta partikelhalterna för respektive dygn verkar dessutom vara något förskjutna mot senare delen av dagen.



Figur 25. Exemplet visar den genomsnittliga koncentrationen av partiklar med storleken 52 nm (tillhörande Aitkenmoden) under vecka 46. Sett över hela veckan uppvisar denna partikelstorlek inte alls samma markanta regelbundenhet som partiklar tillhörande nukleeringsmoden. Partikelkoncentrationerna är också mycket lägre. Ifall extremvärdet under förmiddagen den 11/11 bortses tycks toppvärdena vara något förskjutna mot senare delen av dagen eller kvällen. Lördagen den 14/11 uppvisar samma höga partikelhalter som vardagarna, medan söndagen har mycket låga halter under hela dygnet. Sett över hela veckan återfinns dygnets lägsta partikelkoncentrationerna för det mesta under tidig morgon.



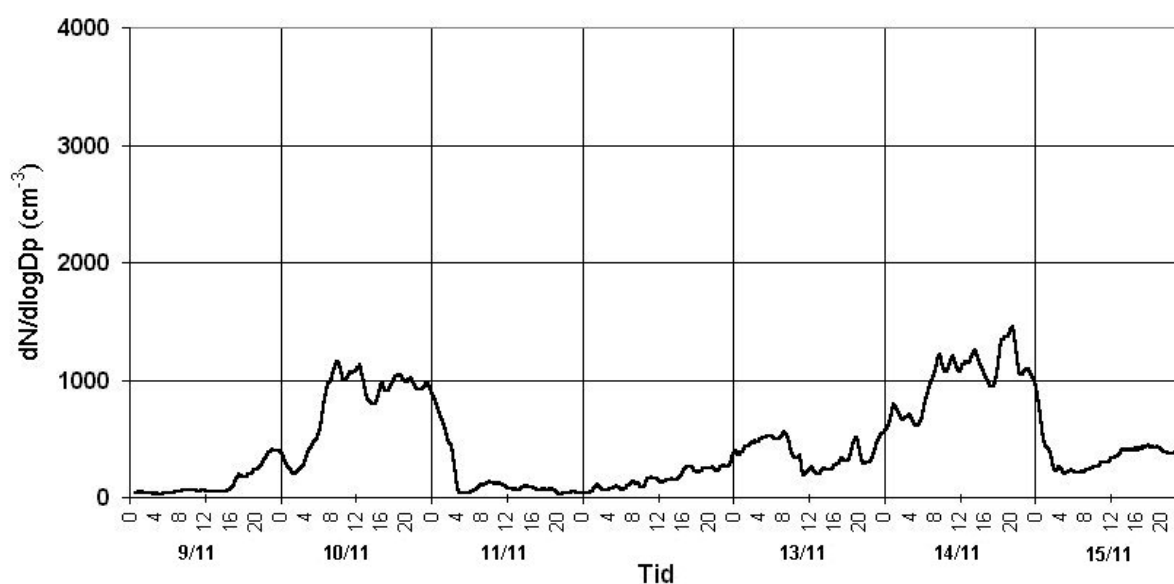
Figur 26. Exemplet visar den genomsnittliga koncentrationen av partiklar med storleken 118 nm (tillhörande ackumuleringsmoden) under vecka 46. Kurvan uppvisar ett oregelbundet mönster under hela veckan, där svårigheter uppstår i att kunna urskilja värden som tillhör dag respektive natt. Den under onsdagen (11/11) tidigare så framträdande anomalin i både Aitken- och nukleeringsmoden har spårlost försvunnit. Istället har en betydande partikelkoncentration uppstått under senare delen av lördagen den 14/11. Notera dessutom den förhållandevis stora koncentrationsansamlingen under hela tisdagen (10/11).

De finaste partiklarna i ackumuleringsmoden (ca 118 nm) uppvisar ur koncentrationssynpunkt ett högst oregelbundet mönster över veckans olika dygn (figur 26). Partikelhalterna varierar från ungefär 500 till drygt 7 000 partiklar/cm³. Det går ej att skilja mellan dag och natt eller vardag eller helgdag. Bortser vi från de extremt höga värdena under den tidiga morgonen på söndagen (15/11) har detta dygn emellertid precis som i tidigare exempel lägst genomsnittlig partikelhalt.

De mellanstora partiklarna inom ackumuleringsmoden (ca 373 nm) uppvisar ett ur koncentrationssynpunkt relativt utslätat mönster med halter från några få partiklar till strax över 1 000 partiklar/cm³ (figur 27). Trots de avsevärt lägre partikelhalterna jämfört med tidigare exempel uppvisar mönstret i koncentrationsfördelningen över veckan för de 373 nm stora partiklarna betydande likheter med motsvarande fördelning för de finare 118 nm partiklarna. De dominerande topparna ligger i båda fall ungefär kring den 10/11 respektive 14/11 vilket skvallrar om släktskapet mellan dessa storlekar inom ackumuleringsmoden. I övrigt uppvisar den genomsnittliga koncentrationen av partiklar med storleken 373 nm under flertalet dygn mycket låga partikelhalter, t ex är genomsnittshalten endast 125 partiklar/cm³ under måndagen den 9/11 vilket är ungefär 8 gånger lägre jämfört med lördagen den 15/11 vars genomsnitt låg på 1 017 partiklar/cm³.

De största uppmätta partiklarna inom ackumuleringsmoden (400 till 848 nm) följer i stort sett exakt samma mönster ur koncentrationssynpunkt som de 373 nm stora partiklarna.

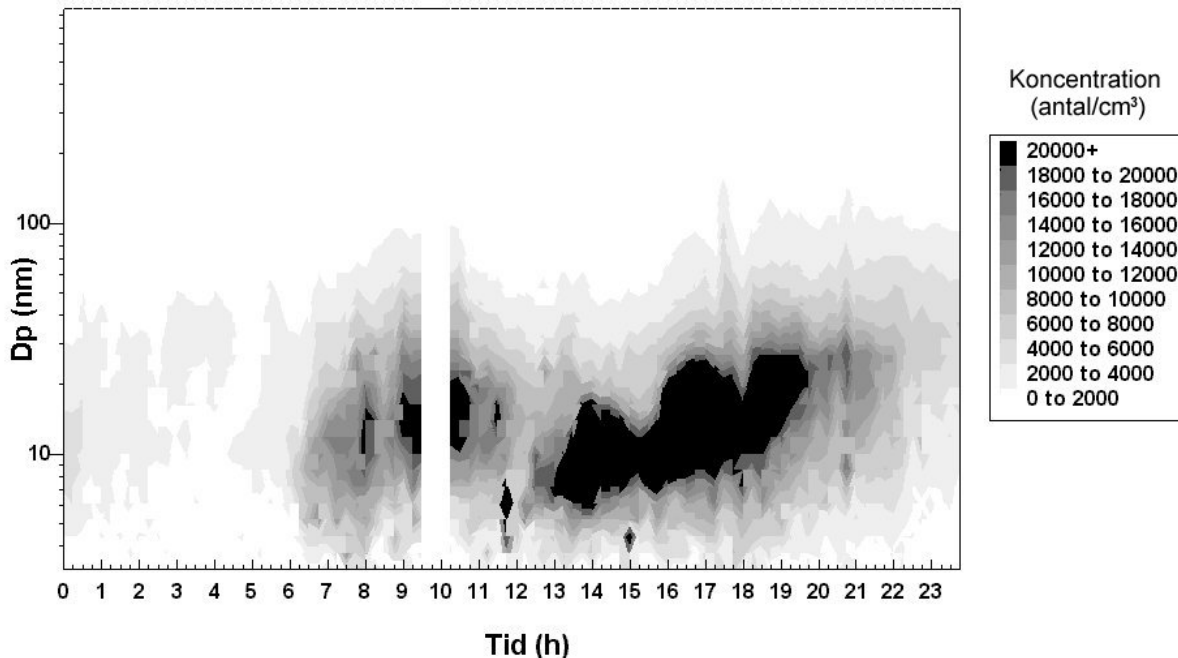
Partikelkoncentrationerna avtar emellertid successivt med ökande storlek. Under vecka 46 uppmättes i genomsnitt endast 11 partiklar/cm³/dygn för de största partiklarna (848 nm). Den maximala uppmätta koncentrationen för denna storlekskategori under en kvarts mätning var 55 partiklar/cm³. Denna toppnotering ägde rum den 10/11 kl 20:45.



Figur 27. Exemplet visar den genomsnittliga koncentrationen av partiklar med storleken 373 nm (tillhörande ackumuleringsmoden) under vecka 46. Partikelhalten är mycket låg jämfört med tidigare partikelstorlekar.

Koncentrationsansamlingarna den 10/11 och 14/11 ligger tidsmässigt ungefär vid motsvarande tidpunkter jämfört med de finare partiklarnas (118 nm) ansamlingar inom ackumuleringsmoden.

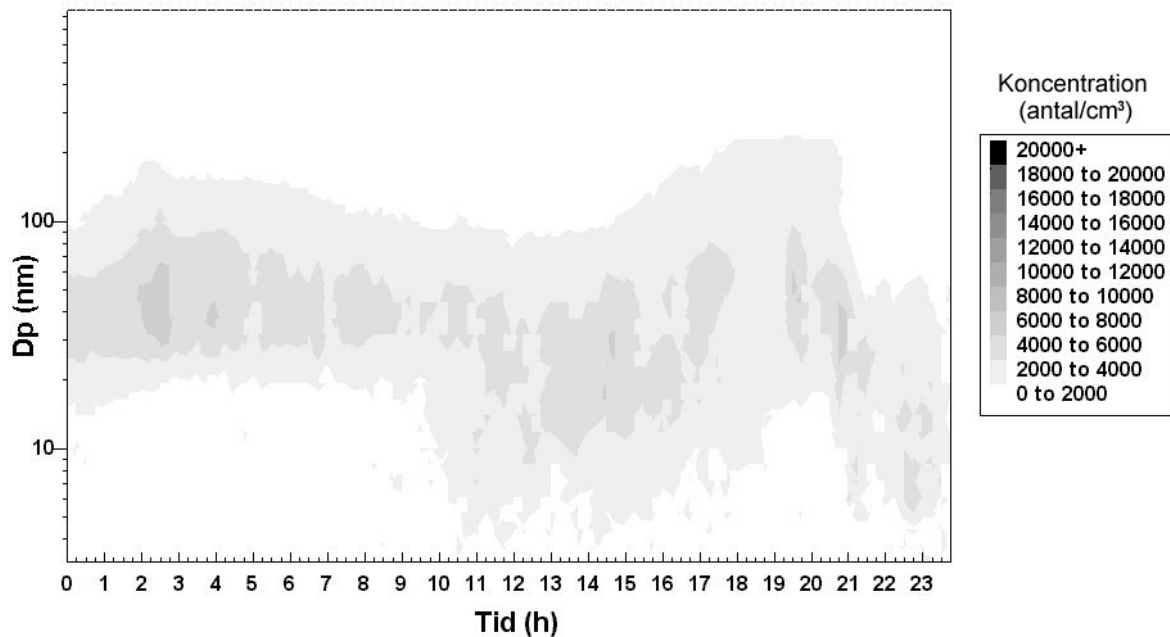
För att få en bättre bild över hur de olika partikelstorlekarnas genomsnittliga koncentrationer varierade över dygnet plottades värdena emot varann i en sk spektral plot (figur 28). Mätdataens genomgående generella resultat visar att gryningen har låga partikelhalter för i stort sett samtliga partikelstorlekar. I exemplet från fredagen den 16/10 börjar partikelhalterna öka rejält kl 06:00 för de allra minsta ultrafina partiklarna. Exemplet visar tydligt att det förekommer två områden med mycket höga partikelkoncentrationer, en på förmiddagen och en på eftermiddagen. Under eftermiddagen förskjuts de högsta koncentrationerna från partikelstorlekar kring 6 nm (kl 14:00) till storlekar kring 30 nm (kl 19:00). Likaså förskjuts omgivande partikelstorlekar mot större diametrar. Detta fenomen återkommer i en stor del av mätdata. Partikelstorleken tycks alltså öka under dagens lopp, men i just detta exempel kan inga större koncentrationer över 100 nm skönjas.



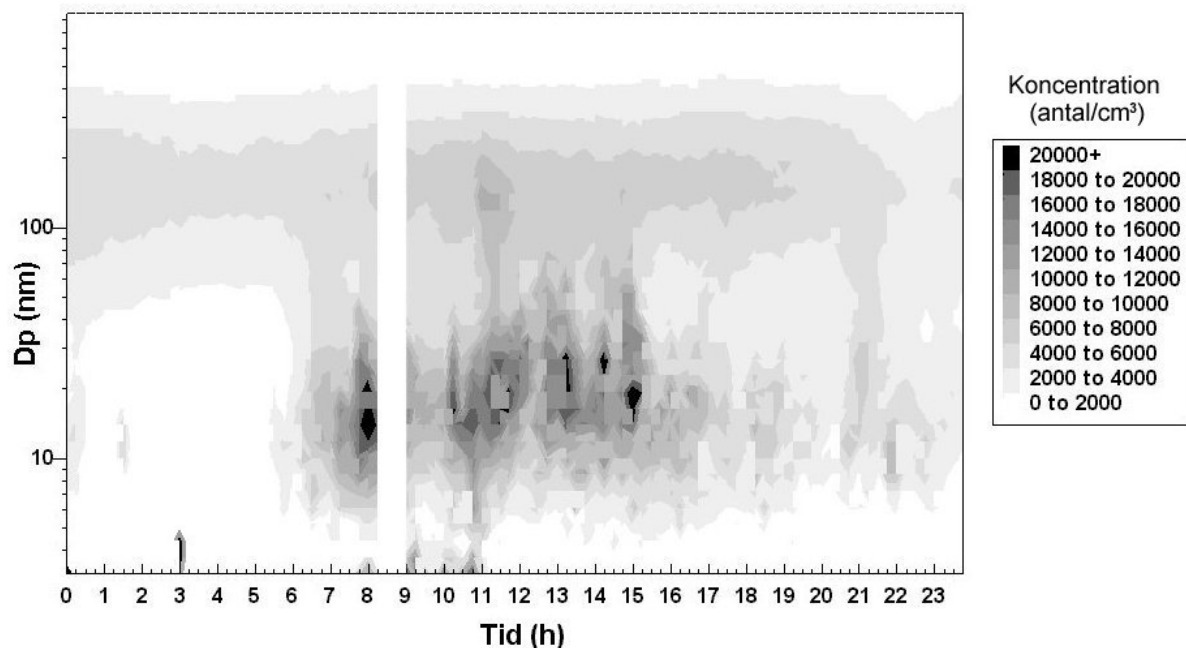
Figur 28. Diagrammet visar den genomsnittliga koncentrationen (partiklar/cm³) av samtliga registrerade partiklar under fredagen den 16/10 1998. Y-axeln representerar partikelstorleken (nm) i en logaritmisk skala. Den vita strimman i mätdata är resultatet av det avbrott som en flödeskontroll av DMPS-systemet orsakade. Notera hur framförallt de största partikelkoncentrationerna verkar förskjutas mot större partikelstorlekar. Detta fenomen syns särskilt tydligt under eftermiddagen.

En motsvarande spektral plot över en helgdag visar ett delvis liknande mönster (figur 29). I exemplet från lördagen den 17/10 syns först och främst att partikelkoncentrationerna är betydligt lägre jämfört med fredagsexemplet. Produktionen av ultrafina partiklar börjar långt senare under förmiddagen (kl 10:00), men ökar successivt i storlek under eftermiddagen. Detta fenomen gäller även större partiklar i Aitkenmoden (kring 50 nm) som under dagens lopp verkar övergå till ackumuleringsmoden upp mot 200 nm. Ett intressant fenomen på gränsen mellan Aitkenmoden och ackumuleringsmoden är det koncentrationsband som sveper

in över en stor del av morgonen och förmiddagen. Dessa partikelhalter, och då främst de större partikelstorlekarna upp mot 100 nm, är troligen till stor del rester från dygnet innan.



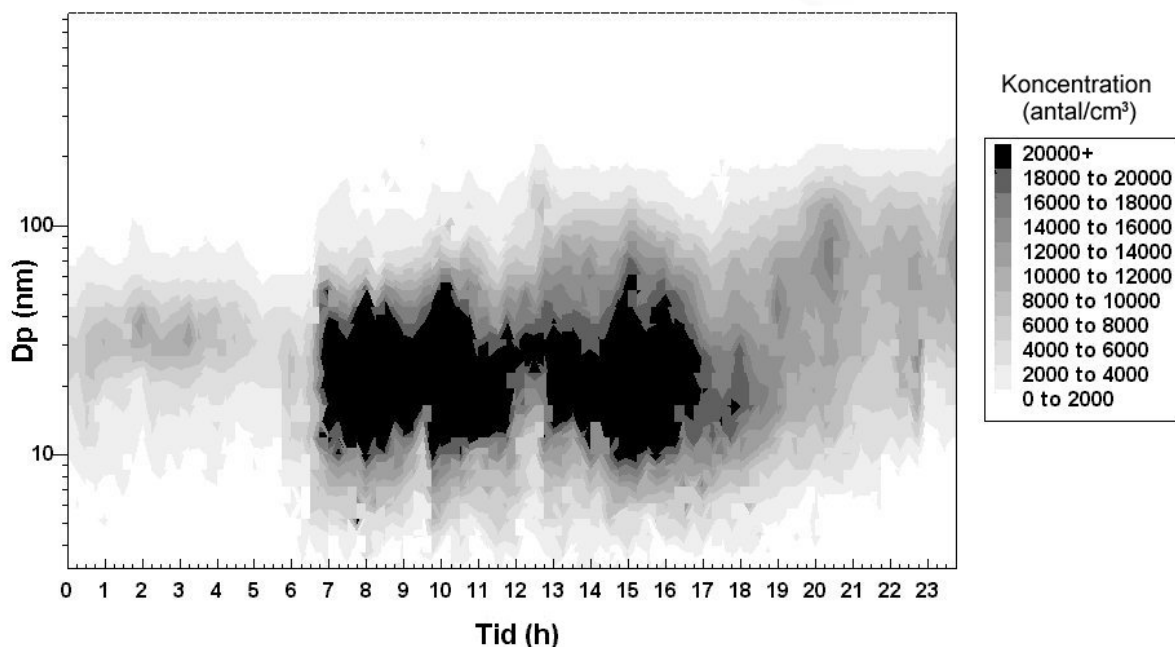
Figur 29. Diagrammet visar den genomsnittliga koncentrationen (partiklar/cm³) av samtliga registrerade partiklar under lördagen den 17/10 1998. Helgen kännetecknas av lägre partikelkoncentrationer och en fördröjd produktion av de allra minsta partiklarna jämfört med vardagen. Koncentrationsbandet som ligger på gränsen mellan Aitkenmoden och ackumuleringsmoden (kring 100 nm) i början av dygnet är troligen rester sedan partikelproduktionen dygnet innan.



Figur 30. Diagrammet visar den genomsnittliga koncentrationen (partiklar/cm³) av samtliga registrerade partiklar under onsdagen den 25/11 1998. Den vita strimman i mätdatan är resultatet av det avbrott som en flödeskontroll av DMPS-systemet orsakade. Notera koncentrationsbandet som kan skönjas under stort sett hela dygnet i ackumuleringsmoden (ca 100-400 nm). Trots att partikelhalterna inte är så höga i nukleeringsmoden (ca 5-30 nm) jämfört med tidigare exempel, är halterna ändå så pass stora att de är de mest dominerande.

I ett vardagsexempel från den 25/11 kan ett liknande koncentrationsband skönjas från föregående dygn (figur 30). Under denna onsdag i november ligger emellertid bandets centrum i ackumuleringsmoden vid ca 200 nm:s partikelstorlek och koncentrationer över 2 000 partiklar/cm³ uppträder ända upp till 400 nm:s storlek. Troligen härstammar de sekundära partiklarna i ackumuleringsmoden precis som i föregående exempel från dagarna innan. Orsaken till varför detta band är mer markerat än tidigare kan ha sin förklaring i de meteorologiska förhållanden som rådde. Just denna morgon låg temperaturen kring 0 °C, men under dygnen innan uppmättes temperaturer ner mot -5 °C (bilaga 4). En förklaring är alltså att de lägre temperaturerna sannolikt inneburit att invånarna inte bara i Lund utan i regionen som helhet behövt elda mer för att hålla värmen, vilket resulterat i de förhöjda partikelhalterna av sekundära partiklar som exemplet visar.

Om lägre temperaturer antas bidra till en ökad koncentration av partiklar i ackumuleringsmoden borde mätdata under kallare perioder uppvisa ett än mer markerat koncentrationsband eller åtminstone ett band med liknande resultat som novemberexemplet ovan. I exemplet från tisdagen den 8/12 har vi ur meteorologisk synpunkt haft en liknande situation som den 25/11 även under dygnen innan, men med den skillnaden att de uppmätta temperaturerna tillhör mätperiodens lägsta ner mot ca -8 °C (figur 31). Exemplet visar emellertid att de lägre temperaturerna i december inte verkar bidra till mer markerade koncentrationsband i ackumuleringsmoden. Tvärtom verkar bandet vara obefintligt. Endast ett svagare band i Aitkenmoden kan skönjas, vilket i och för sig kan var en rest från dygnet innan. Det som istället dominerar bilden är först och främst de förhöjda halterna av ultrafina partiklar mellan 10 och 50 nm under förmiddag och eftermiddag. För övrigt verkar partikelstorlekarna precis som i tidigare exempel vandra uppåt i diameter under dagens lopp för att mot kvällen slutligen ligga kring ackumuleringsmoden.



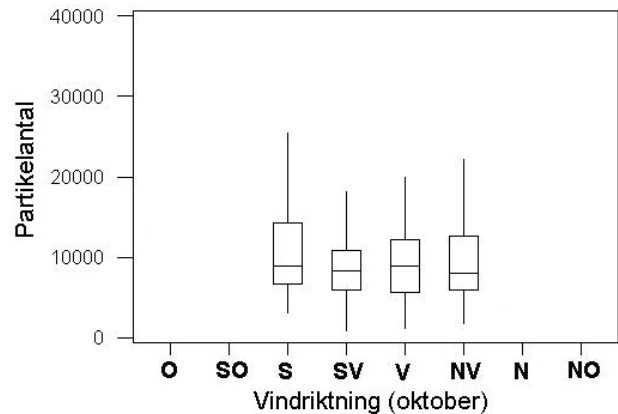
Figur 31. Diagrammet visar den genomsnittliga koncentrationen (partiklar/cm³) av samtliga registrerade partiklar under tisdagen den 8/12 1998. Exemplet domineras av de förhöjda halterna av ultrafina partiklar mellan 10 och 50 nm under förmiddag och eftermiddag. Under dagens lopp vandrar koncentrationerna av partikelstorlekarna uppåt i storlek för att slutligen, precis som i tidigare exempel, hamna i ackumuleringsmoden.

3.3. Undersökning av partikelförhållanden

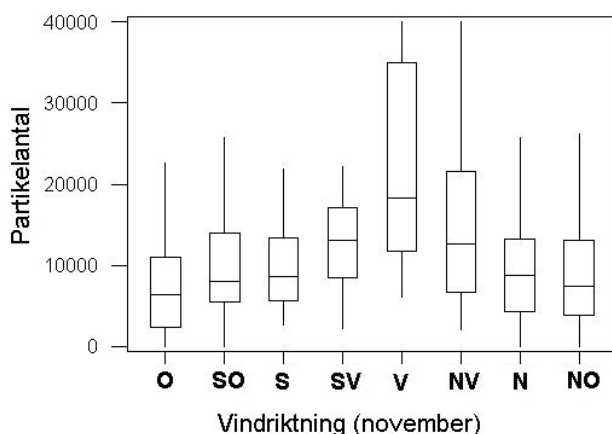
3.3.1. Förhållande till lokal vindriktning

Då det uppmätta partikelantalet under oktober kopplas till den lokala vindriktningen blir resultatet att antalet partikel är ungefär lika stort oavsett vindriktning (figur 32). Det verkar alltså inte finnas något direkt tydligt samband mellan lokala vindriktningar och partikelantal. Det utjämnade resultatet beror troligen på att luften inom Lund kan anses vara väl omblandad vilket gör att det uppmätta partikelantalet är relativt konstant.

Figur 32. Uppmätt partikelantal varje kvart i relation till de rådande lokala vindriktningarna under vardagarna i oktober. Medelvärdet för det totala uppmätta partikelantalet låg på ungefär 9 200 partiklar varje kvart (exklusive helgdata). De västliga vindarnas andel under månaden var 46%.



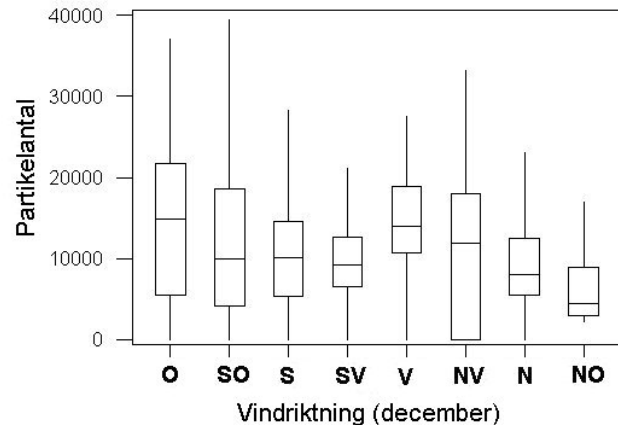
Under november visar motsvarande koppling mellan vindriktning och partikelantal att antalet uppmätta partiklar är markant större i de västliga vindriktningarna (figur 33). De västliga vindarna motsvarade emellertid endast 5% av månadens totala vindar, då det under denna månad var det de partikelfattiga nordost- och ostliga vindarna som var förhärskande. Bristen på mätvärden från den västliga vindriktningen gör att vi ej kan vara 100% säkra på att denna vindriktning verkligen var partikelrikast. Ytterligare mätvärden skulle kunna ha förändrat detta resultat.



Figur 33. Uppmätt partikelantal varje kvart i relation till de rådande lokala vindriktningarna under vardagarna i november. Medelvärdet för det totala uppmätta partikelantalet låg på ungefär 11 100 partiklar varje kvart (exklusive helgdata). De nord- och nordostliga vindarnas andel under månaden var 42%.

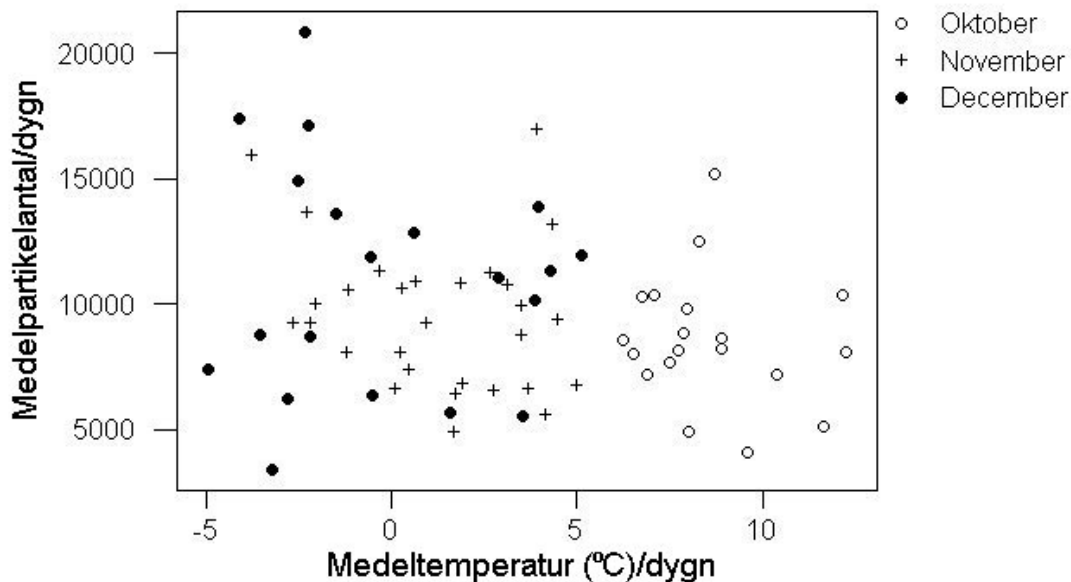
December månads lokala vindriktningar relaterade till det uppmätta partikelantalet ger en mer växlande bild över förhållandena (figur 34). Ett stort antal partiklar tycks dock ha kommit med ostliga vindar, men även de västliga vindarna kan kopplas till betydande partikelantal. Dessa vindriktningar stod tillsammans för knappa 16% av månadens samlade vindar.

Figur 34. Uppmätt partikelantal varje kvart i relation till de rådande lokala vindriktningarna under vardagarna i december. Medelvärdet för det totala uppmätta partikelantalet låg på ungefär 11 600 partiklar varje kvart (exklusive helgdata).



3.3.2. Förhållande till temperatur

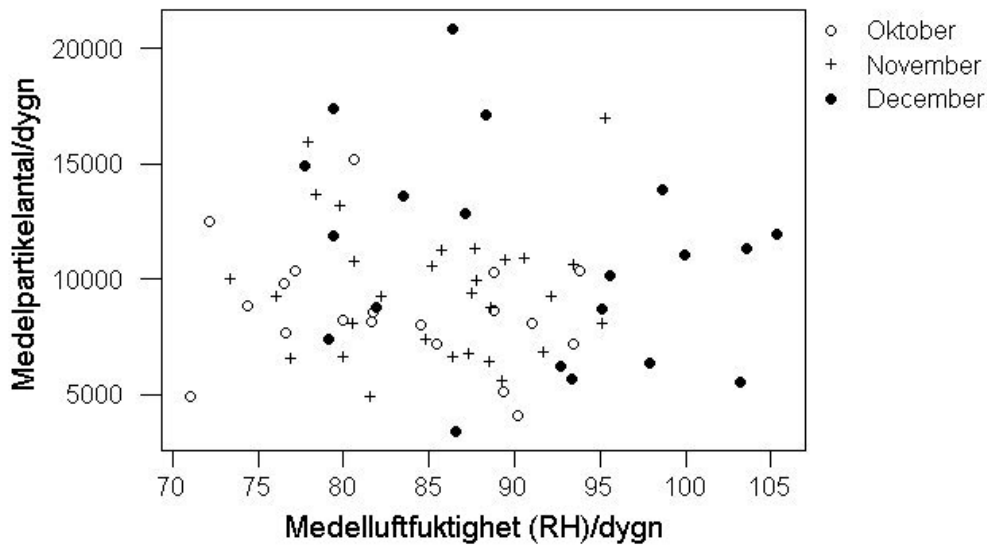
Temperaturen sjönk kraftigt (i genomsnitt drygt 7 °C) mellan oktober och november månad samtidigt som det genomsnittliga partikelantalet ökade från 8 400 i oktober till november genomsnitt på 10 300. Med stor sannolikhet kan detta förklaras med att bl a hushållen eldat mer för att kompensera lägre yttertemperaturer. Vidare har de lägre temperaturerna sannolikt bidragit till att fordonstrafiken under längre tidsperiod kört med choke, samtidigt som andelen cyklister i trafiken dessutom kan antas ha minskat till förmån för ökad fordonstrafik. December blev ytterligare någon grad kallare än november vilket med ovanstående resonemang skulle innebära ytterligare ett ökat medelpartikelantal i atmosfären. Analysen visade emellertid att medelantalet tvärtom minskade under december jämfört med november, dock ej till oktober månads förhållandevis låga nivåer. Statistiska beräkningar visar dessutom att något tydligt samband mellan medeltemperatur och medelpartikelantal inte finns vare sig vi undersöker med eller utan helgdagens färre medelpartikelantal (figur 35).



Figur 35. Diagrammet visar förhållandet mellan medelpartikelantalet och medeltemperaturen (°C) för samtliga dygn under hela mätperioden. Som synes framträder inget tydligt samband oavsett vilken månad som tas i beaktande. Korrelationen beräknades till $-0,26$. Resultatet blev i stort sett samma då beräkningar utfördes utan helgdagens inverkan på mätdata. Lagg märke till att december månad besitter såväl högst som lägst medelpartikelantal per dygn under låga medeltemperaturer. Motsvarande försök exklusive helgdagar uppvisade i stort sett samma resultat.

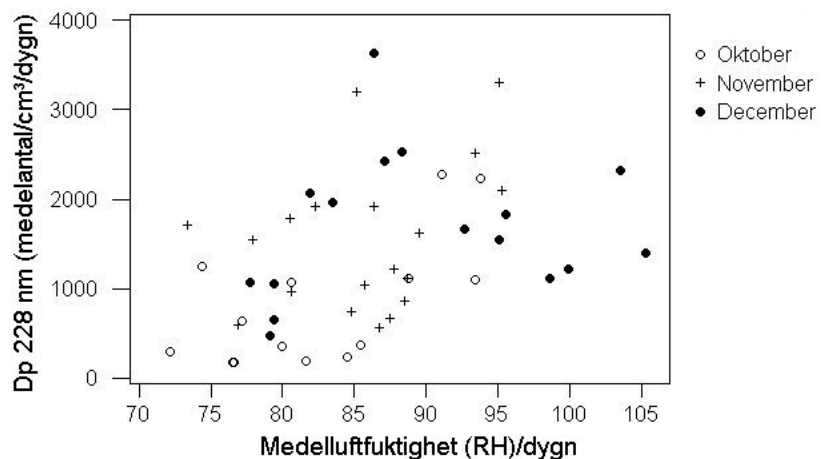
3.3.3. Förhållande till relativ luftfuktighet och nederbörd

Fuktigheten kan tänkas påverka partikelantalet i atmosfären, då molndroppar kan bildas kring partiklar som i torrt tillstånd har en storlek på 100 till 500 nm. En ökad luftfuktighet innebär ju en högre koncentration vattenånga i atmosfären som kan komma att påverka partikelantalet upp eller ner. Statistiska beräkningar visar emellertid att det inte verkar finnas något samband mellan den relativa luftfuktigheten och det genomsnittliga partikelantalet oberoende av storlek under någon månad (figur 36).



Figur 36. Förhållandet mellan medelpartikelantalet och medelluftfuktigheten (RH) för samtliga dygn under hela mätperioden. Oavsett vilken månad som tas i beaktande framträder inget tydligt samband. Korrelationen beräknades till $-0,07$. Motsvarande försök exklusive helgdagar uppvisade i stort sett samma resultat. Notera att luftfuktigheten ibland steg över 100%. Anomalin den 11/11 har eliminerats från beräkningen.

Om hänsyn tas till en specifik partikelstorlek istället för som ovan till genomsnittligt partikelantal visar den statistiska analysen på ett ytterst svagt samband mellan den relativa luftfuktighet och koncentrationen för partiklar med diametern 200-500 nm. Beräkningarna antyder att ju högre luftfuktigheten är desto högre partikelhalter registreras. Bäst överensstämmelse i detta förhållande uppvisar partiklar med diametern 228 nm (figur 37).

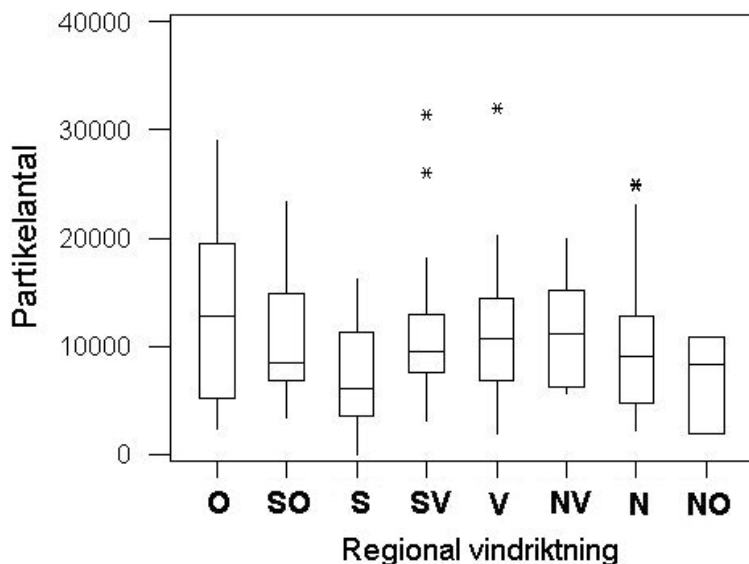


Figur 37. Förhållandet mellan koncentrationen av 228 nm stora partiklar och medelluftfuktigheten (RH) för samtliga dygn under hela mätperioden. Ett svagt samband kan skönjas. Korrelationen beräknades till $0,41$. Motsvarande försök exklusive helgdagar uppvisade i stort sett samma resultat.

Nederbördens inverkan på partikelantal och partikelkoncentration är svårare att bestämma, då några exakt nederbörds­mätningar ej utfördes under arbetet. Teoretiskt skulle partiklarna inom ackumuleringsmoden kunna bli färre till antalet genom att de ackumulerar till större molndroppar som sedan kan regna bort vid nederbördstillfällena. Det är känt att atmosfären har en inbyggd självrenande förmåga, där nederbörden utgör en viktig del i reningsprocessen för partiklar större än 2 μm (Toresson, 1997). På empirisk väg utfördes ett mindre test att försöka fastställa ifall det fanns något samband mellan nederbördsdata från DMI och genomsnittliga partikelhalter. Resultatet visade att inget uppenbart samband kunde konstateras. Förklaringen är sannolikt att de små partiklarna dominerar så pass mycket till antalet att en reduktion av de större partiklarna inom ackumuleringsmoden på grund av nederbörd inte märks totalt sett.

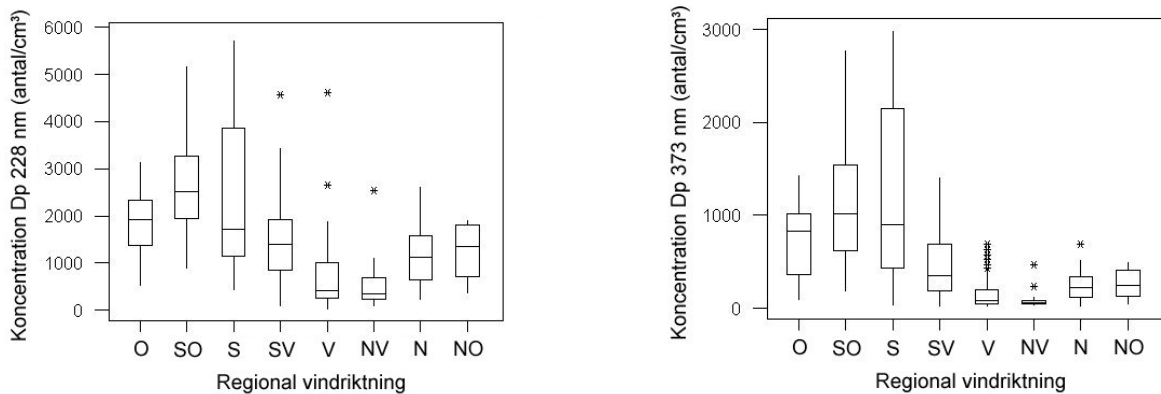
3.4. Aerosolernas långväga transporter

En grundlig undersökning av trajektoriedatan visar att luftpaket kan transporteras upp till ungefär 1 000 km på ett dygn och att den östvästliga omblandningen oftast verkar ske snabbare än den nordsydliga (bilaga 3), vilket är naturligt med tanke på jordens rotation. Ungefärliga vindriktningar uppskattades på empirisk väg och sattes därefter i relation till uppmätta genomsnittliga partikelantal vid motsvarande tidpunkter (figur 38). För att eliminera en stor del av osäkerheten i trajektorierna användes endast data som är ett dygn gammal. Resultatet tycks indikera att regionala östliga vindriktningar något oftare innehåller ett större antal partiklar jämfört med övriga väderstreck, vilket är ett högst troligt resultat med tanke på den allmänt kända höga partikelproduktionen i länderna på andra sidan Östersjön. Sambandet mellan partikelantal och regionala vindriktningar är emellertid för svagt, varför några säkra slutsatser ej kan fastställas. Jämförelsen visar dessutom inte vilken typ av partiklar som dominerar dessa vindriktningar innehåller.



Figur 38. Uppmätt genomsnittligt partikelantal var sjätte timme i relation till uppskattade regionala vindriktningarna från trajektorier under mätperiodens samliga vardagar. Resultatet antyder, om än svagt, att luftpaket som transporteras via öst- och delvis även sydostliga vindriktningar oftare innehåller ett stort antal partiklar. Motsvarande försök inklusive helgdagar uppvisade i stort sett samma resultat.

Vi vet att partiklar inom nukleeringsmoden har en kort atmosfärisk uppehållstid och härstammar från lokala källor endast några få timmar ifrån Lund, till skillnad mot de sekundära partiklarna i ackumuleringsmoden med motsvarande atmosfäriska uppehållstid på flera dagar. Ett luftpaket som några dagar tidigare befunnit sig över den europeiska kontinenten kan därför förväntas innehålla större koncentrationer av den senare partikeltypen jämfört med luftpaket som kommer norrifrån. En jämförelse mellan koncentrationen av sekundära partiklar och den regionala vindriktningen antyder också att så är fallet (figur 39). Exempelen visar att störst uppmätta koncentrationer av sekundära partiklar erhålls i ost- till sydliga vindriktningar. Lägst koncentrationer erhålls i huvudsak från de nordvästliga vindarna. Något förvånande är de relativt låga koncentrationerna i framförallt de västliga men till viss del även de sydvästliga vindriktningarna. Köpenhamnsregionen i väster verkar inte vara någon större källa till de uppmätta koncentrationerna av sekundära partiklar. Likaså tycks Storbritannien, Frankrike samt Beneluxländerna i sydväst vara en mindre källa till sekundära partiklar jämfört med södra och östra Europa. Förklaringen till detta kan vara att förhållandevis rena luftmassor från Atlanten spär ut den kontinentala luften i dessa sett från Lund sydvästliga regioner.



Figur 39. Förhållandet mellan koncentrationen (antal/cm³) av partiklar med storleken 228 nm respektive 373 nm och regional vindriktning för samtliga dygn under hela mätperioden. Resultatet antyder i båda fall att ostliga till sydliga vindriktningar har högst uppmätta koncentrationer av sekundära partiklar. Lägst koncentrationer uppmättes i framförallt nordvästliga vindriktningar. Motsvarande försök exklusive helgdagar uppvisade liknande resultat.

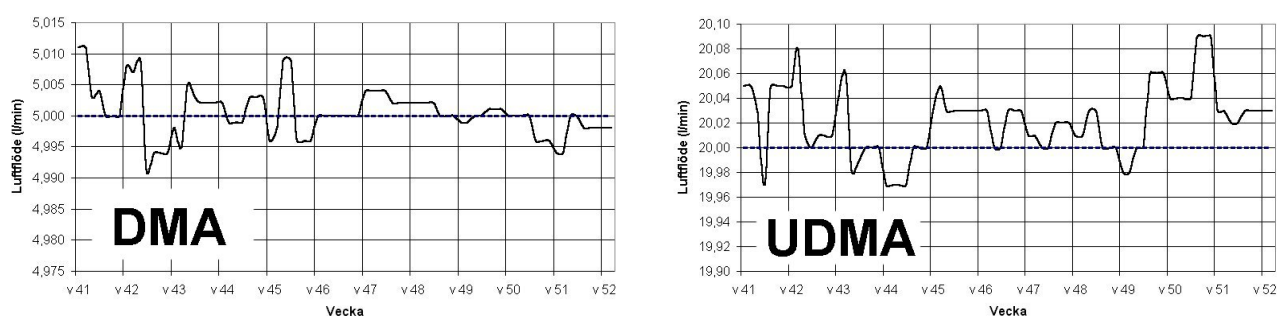
Partiklarnas långväga transporter kan med befintlig mätdata sammanfattas enligt följande punkter:

- Det uppmätta partikelantalet, oberoende av storlek, visar inget tydligt samband med regionala vindriktningar. De östliga vindarna tycks trots detta vara partikelrikast.
- Förhållandet mellan partikelhalten av partiklar inom ackumuleringsmoden uppvisar ett tydligare samband i förhållande till de regionala vindarna.
- Sydostliga och sydliga vindar innehåller klart högst halter av sekundära partiklar. I genomsnitt var koncentrationen för 228 nm:s partiklar 5 gånger större och för 373 nm:s partiklar hela 11 gånger större i sydostliga vindar jämfört med nordvästliga.
- Analysen grundar sig till 50% på empirisk data, vilket innebär att uppskattningarna är behäftade med en viss osäkerhet.
- Resultatet som helhet anses emellertid vara rimligt då det är känt att Östeuropa genererar stora mängder sekundära partiklar.

3.5. Felkällor

Byggnadens ventilationssystem var ett stort orosmoment inför partikelmätningarna, då DMPS-systemet i praktiken skulle kunna registrera inomhusluft och följaktligen inte spegla de verkliga atmosfäriska förhållandena. Ventilationens utsug befann sig i nord/nordvästlig vindriktning, en vindriktning som skulle det visa sig förekomma ytterst sällan. En genomgång av mätdatan visar också att inga uppenbara anomalier uppstår i förhållandet mellan vindriktning och partikelantal respektive partikelkoncentration.

Osäkerheten i datan från DMPS mätningarna beror på dels systematiska, och dels statistiska fel som uppkommer under själva mätningen. De *systematiska* felen kan orsakas av diverse manuella feljusteringar av analysatorernas olika luftflöden (figur 40). Ett annat tänkbart fel är feljustering av spänningsaggregatet, ett fel som dock minimerades i denna undersökning genom att låta mjukvaran automatiskt styra de olika spänningarna. Problemet med automatiken är att systemet är känsligt för spänningsfall. Ett spänningsfall kan resultera i att systemet nollställs och mätningarna avbryts. En incident uppstod när DMPS-systemet en natt drabbades av ett strömavbrott. Ingående undersökningar av materialet visar emellertid att det inte verkar ha påverkat den fortsatta mätningen.



Figur 40. Diagrammen visar de manuellt inställda omslutningsflödena (sheath air) i förhållande till de ideala i respektive analysator. Det idealiska omslutningsflödet i DMA:n är 5,000 l/min, medan motsvarande idealvärde i UDMA:n är 20,00 l/min. Diagrammen visar att det var svårt att exakt erhålla dessa ideala luftflöden. Avvikelsen från det ideala omslutningsflödet uppgick som mest till 4,5 promille.

Till de *statistiska* felen hör ett dåligt räkneunderlag i CPC:n (Poisson fel), samt fluktuationer i DMA:ns överskotts- och omslutningsflöde (Gaussiskt fel). Avvikelsen från de ideala luftflödena ger upphov till felaktiga beräkningar av partikelkoncentrationen. Till de statistiska felen hör även fluktuationer i högspänningsaggregatet (Gaussiskt fel). Under mätningarna kan förekomsten av dessa statistiska fel leda till relativt stora osäkerheter i den beräknade inverterade datan av partikelstorlekar på 3-5 nm. Generellt ansågs tillverkarens uppgifter med avseende på noggrannheten av mätinstrumentet i DMPS-systemet vara att lita på. Efter utförda kalibreringar skulle eventuella mätfel i partikeldatan i praktiken vara så små att näst intill 100% korrekt data skulle erhållas. Undantaget var som sagt beräkningarna av partikelhalten vid storlekar kring 3 till 5 nm. Partikeldatan som helhet har i efterhand också visat sig uppfylla tillräckligt höga krav för att uppgiften ska kunna lösas.

Efter en grundlig undersökning visade sig även den meteorologiska mätdatan uppfylla tillräckligt höga krav för att kunna användas. Det uppstod emellertid ett antal mindre problem i väderstationen under mätningens gång, där bl a barometern efter en månads användning visade sig registrera grovt felaktiga värden trots att den kalibrerats enligt medföljande

instruktioner. Mätfelet uppgick i extremfallet till hela 400 hPa. Felet upptäcktes dock i tid innan värdena utnyttjas i partikelberäkningarna. De fortsatta värdena som tillfördes DMPS-systemet hade ett fel på max 1 hPa. Ett fel som efter diskussioner med forskarna på Fysicum endast ansågs ge upphov till ett promille stort fel i slutberäkningarna. Från början var det dessutom tänkt att vindhastighetsdata skulle utnyttjas i utvärderingen av resultatet, men tanken övergavs då anemometern inte registrerade data. Troligtvis utfördes en felkoppling eller felinställning i loggern vid monteringen.

Den utmärkande avvikelsen under vecka 46 kräver särskild granskning. Anomalin inleds den 10/11 men når sina absoluta högsta värden onsdagen den 11/11. Datan visar att DMPS-systemet under detta dygn konsekvent räknat ett extremt stort antal partiklar, med extremt höga genomsnittliga koncentrationer för främst de allra minsta partikelstorlekarna (3-5 nm). I extremfallet uppmättes en medelkoncentration under ett dygn på över 213 000 partiklar/cm³ för 3 nm stora partiklar, vilket är drygt 85 gånger mer än det normala genomsnittet (2500 partiklar/cm³) under mätperioden. Då det är känt att UCPC:ns mätnoggrannhet för dessa allra minsta storlekar är mindre god borde uppmätta värden kunna tas med en nypa salt. Problemet är att värdena skiljer sig avsevärt från vad som normalt registrerats under mätperioden. Det måste finnas andra förklaringar till anomalin. Orsakerna går endast att spekulera i men följande är värt att ta upp:

- 1) De meteorologiska förhållandena kännetecknades av västliga vindar med ungefär 5 mm nederbörd per dygn och temperaturer kring 4-6 °C. Det är troligt att regndroppar olyckligt kan ha blåst in i insuget på taket. Dessa droppar kan i sin tur ha finfördelats till ytterst fina dimmdroppar som i extrema fall kan nå en minimal storlek på ungefär 1 μm (Crutzen, 1993). Att dessa droppar inom systemet på något okänt sätt skulle kunna finfördela sig ytterligare ner mot ultrafina storlekar är därför mindre troligt. Skulle detta mot all förmodan ändå vara fallet kan man fråga sig varför detta inte skett under tidigare nederbördsrika dygn med liknande vindförhållanden.
- 2) Flödeskontrollen kan ha utförts slarvigt under berörda dygn där glapp i slangar och ventiler resulterat i att systemet istället sugit in den partikelrika inomhusluften. Detta scenario är mindre troligt då anomalin börjar ta form under natten – flera timmar efter utförd kontroll.
- 3) Obehörig personal kan ha skruvat på instrumentet, då all personal har tillgång till lokalen. Inget tyder dock på detta.
- 4) Oregelbunden spänningstillförsel kan temporärt ha bidragit till driftstörningar i t ex spänningsaggregaten för respektive analysator vilka i sin tur registrerat partiklar utanför angivna inställningar. Motsvarande driftstörning kan pump och kompressor ha utsatts för men det finns inga bevis.
- 5) UCPC:ns fläkt pumpat in aerosoler med felaktiga förutbestämda luftflöden. Ett scenario som grundas på att fläkten under vissa perioder gav ifrån sig ett gnislande ljud.
- 6) Då det var känt att det fanns smörjolja i byggnadens tryckluftssystem seriekopplades fem olika partikelfilter mellan DMPS-systemet och kompressorn. Det finns en möjlighet, om än liten, att dessa filter antingen ej fungerat tillfredsställande under dessa dygn eller att någon kopplat ur dessa temporärt, vilket orsakat finfördelad smörjolja i systemet under dessa två dygn.
- 7) Slutligen kan anomalin bero på en yttre källa som faktiskt ger höga värden, t ex kan städpersonalens rökpauser ha varit ovanligt långa, eller så har emissionerna från arbetsmaskinerna som grävt precis intill byggnaden varit ovanligt rikliga. Dessa gissningar förklarar emellertid ej anomalin under nattetid. Istället är sannolikheten större att DMPS-systemet registrerat en luftförorening som t ex något företag i västlig riktning släppt ut under denna tidsperiod.

3.6. Diskussion

Sett ur ett längre tidsperspektiv indikerar resultatet att partikelantalets variationer följer ett återkommande mönster, där vardagarna generellt uppmäter ett högre partikelantal jämfört med helgerna (figur 15). Den naturliga förklaringen till detta veckomönster är med stor sannolikhet att fordonstrafiken och brukandet av arbetsmaskiner är intensivare under vardagarna än under helgdagarna. Analysen visar att dygnets genomsnittliga uppmätta partikelantal ligger på ganska exakt 10 000 partiklar per kvart. En jämförelse med liknande urbana mätningar gjorda i bl a Leipzig, Tyskland visar att detta värde kan anses vara rimligt (Birmili, 1998).

Resultatet visar vidare att det finns återkommande variationer i partikelantalet även i ett kortare tidsperspektiv (figur 16). Det genomsnittliga dygnet har i samtliga fall lägre uppmätta partikelantal under natten jämfört med under dagen. I genomsnitt inandas en Lundabo ungefär tre gånger så mycket partiklar under den ljusa dagen jämfört med under natten. Den genomsnittliga vardagen uppvisar sina absolut högsta toppar under förmiddagen och en stor betydelsefull topp på eftermiddagen. Motsvarande utpräglade fluktuationer förekommer ej under helgen. Variationerna under dygnet har en naturlig förklaring. Vi sover på natten och arbetar under dagarna. Morgonrusning till jobbet och eftermiddagsrusning till hemmet ger höga uppmätta partikelantal. Förmiddagskaffe och lunch kring middag ger något lägre värden än det ljusa dygnet i övrigt. Under natten och tidig morgon lägger sig lugnet över staden och antalet uppmätta partiklar är som lägst.

Statistiska beräkningar indikerar att det inte finns något tydligt samband mellan det uppmätta partikelantalet och olika meteorologiska faktorer (figur 32-36). Exempelvis uppvisar de lokala vindriktningarna ingen tydligt partikelrik eller partikelfattig vindriktning under någon av de olika månaderna. Den relativa luftfuktigheten, liksom nederbörden, tycks inte heller påverka antalet partiklar i atmosfären. Analysen visar också att det i mätdata inte finns något direkt samband mellan temperatur och uppmätt partikelantal.

Undersökningen antyder trots detta att ju lägre temperaturen är desto större partikelantal registreras (figur 17). Under den kallaste månaden (december) registrerades det största genomsnittliga antalet partiklar, medan den varmaste månaden (oktober) registrerade det minsta partikelantalet. Följaktligen måste den indirekta kopplingen mellan variablerna vara av antropogen härkomst. Resultatet från undersökningen beror alltså med stor sannolikhet på, som tidigare påpekats, att invånarna i Lund och i regionen som helhet börjat elda mer för att motverka de lägre temperaturerna under både november och december månad. En ökad förbränning av bl a villaolja ger som bekant upphov till större partikelemissioner. En annan förklaring kan vara att invånarna i staden på grund av lägre temperaturer i större utsträckning låter cykeln stå och istället utnyttjar bilen. Följande ovetenskapligt grundade men ändå viktiga citat av en anonym taxichaufför i Lund understryker till viss del detta påstående: *"Ju sämre vädret är, desto mer har jag att göra"*. Lägre temperaturer innebär vidare bilkörning med fetare bränsleblandning som regleras av bilarnas automatiska choke. Det direkta resultatet blir en ökad mängd ofullständigt förbrända avgaser med ett stort partikelinnehåll.

Analysen ger en annan bild över partikelförhållandena då mätdata representeras som en storleksfördelning. Resultatet visar tydligt att den genomsnittliga partikelkoncentrationen under mätperiodens samtliga månader domineras av de ultrafina partiklarna oavsett om data delas in i vardagar eller helgdagar (figur 18-20). Nukleeringsmodens dominans kan förklaras av de typiska urbana förhållanden som var rådande under partikelmätningen. Fordonstrafiken

är som bekant den huvudsakliga källan för produktion av partikelstorlekar mellan ungefär 10 till 100 nm. Resultatet bekräftar detta genom att uppvisa förhållandevis mycket låga genomsnittliga halter av ultrafina partiklar under nätterna då fordonstrafiken i stort sett är obefintlig (figur 22-23). Under dagen uppvisar partikelstorlekar kring 16 nm koncentrationer som i genomsnitt är sex gånger högre jämfört med under natten.

I undersökningen av storleksfördelningarna upptäcktes under vissa dagar två markanta "koncentrationspucklar", en i nukleeringsmoden och en andra i ackumuleringsmoden (figur 21). Förklaringen till den andra puckeln förefaller indirekt ligga i vilka meteorologiska förhållanden som mätningarna ägt rum under. I huvuddelen av fallen med dubbelpuckel är temperaturen förhållandevis låg samtidigt som den regionala vindriktningen pendlar kring sydost. Trajektoriedatan antyder följaktligen att de höga koncentrationerna huvudsakligen tycks ha sitt geografiska ursprung i centrala och östra Europa. Trots att vissa delar av analysen grundar sig på empiriska data får resultatet anses vara rimligt med tanke på att det är känt att bl a Östeuropa genererar stora mängder sekundära partiklar. Temperaturens roll kan antas vara samma för partikelproduktionen i dessa länder som för Lund, dvs är det kallt så eldar man mer. Rimligen resulterar detta så småningom i högre halter av sekundära partiklar i Lund. Dubbelpuckeln tycks alltså bero på dels den tidigare diskuterade lokala partikelproduktionen som resulterar i ökade halter av primära partiklar inom nukleeringsmoden, dels en regional partikelproduktion från det kontinentala Europa som resulterar i ökade halter av sekundära partiklar inom ackumuleringsmoden.

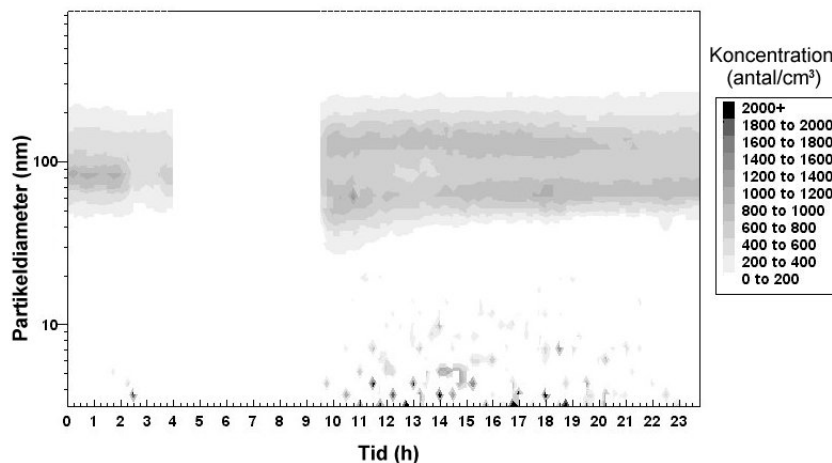
Den genomsnittliga koncentrationerna för typiska partikelstorlekar inom de olika moderna uppvisar sinsemellan olika mönster med tiden (figur 24-27). Nukleeringsmodens höga partikelkoncentrationer påminner om det regelbundna mönster som finns i analysen av partikelantalets variationer med tiden, dvs med höga koncentrationer under fordonstrafikens morgon- och eftermiddagsrusning. Motsvarande koncentrationer inom Aitkenmoden är ej lika markant framträdande och förefaller överlag vara något förskjutna mot senare delen av dygnet. En mer ingående analys av denna förskjutning tycks demonstrera att partiklar inom nukleeringsmoden förskjuts mot större diametrar under dagen (figur 28-31). Förklaringen till koncentrationsförskjutningen verkar alltså vara att de ultrafina partiklarna genom atmosfärens inverkan omvandlas till större partikelstorlekar inom Aitkenmoden under loppet av några timmar. Det finns emellertid inga direkta bevis på att detta fenomen sker. Processen fortsätter mot ackumuleringsmoden, där partiklarnas omvandling tycks avstanna och under efterföljande dygn resultera i ett koncentrationsband av sekundära partiklar med en varaktighet på flera dagar. Iakttagelsen av storleksomvandlingen från primär till sekundär partikel kan sammanfattas med att ju större partikeln är desto större verkar sannolikheten vara att den samma är en äldre partikel. Inom detta område krävs dock mer forskning för att kunna dra korrekta slutsatser.

I en jämförelse med övriga moder uppvisade ackumuleringsmodens partikelkoncentrationer ett flackt och oregelbundet mönster sett över veckan. Koncentrationsansamlingarna som kan skönjas återfinns i all mätdata oavsett vilken partikelstorlek som studeras inom moden (figur 26-27). Detta vittnar om släktskapet mellan de olika partikelstorlekarna inom moden. Oregelbundenheten över veckan kan förklaras med att partiklarna inom denna mod huvudsakligen härstammar ifrån regionala källor oberoende av de variationer som registreras i nukleeringsmoden. Analysen har ju visat att meteorologiska faktorer, såsom temperatur och regionala vindriktning, indirekt spelar en avgörande roll för hur pass framträdande ackumuleringsmoden kommer att bli (figur 39). De lokala vindriktningarnas relevans får i

detta avseende anses som mindre betydelsefulla än de regionala även om det i mätdata har visat sig att de oftast sammanfaller med varann.

Som tidigare nämnts antyder de statistiska beräkningar att det inte finns något tydligt samband mellan partikelantalet och olika meteorologiska faktorer. I analysen mellan luftfuktighet och partikelkoncentrationer av vissa partikelstorlekar inom ackumuleringsmoden tycks det dock finnas ett ytterst svagt samband (figur 37). Analysen tycks indikera att ju högre luftfuktigheten är desto högre partikelhalter registreras för partiklar med diameter 200 till 500 nm. Osäkerheterna i denna analys är emellertid för stora och resultatet bör därför tas med en nypa salt. För det första grundas detta på att beräkningarna är utförda på mätdata som endast omfattar 75 dygn, vilket troligen inte speglar årets alla dygn på ett korrekt sätt. För det andra kan den relativa luftfuktigheten variera kraftigt under dygnet vilket ger missvisande medelvärden över faktiska förhållanden. För det tredje är det inte säkert att partikelproduktionen är konstant med tiden även om en viss regelbundenhet kan skönjas i befintlig data över ett längre perspektiv. För det fjärde sammanfaller sjunkande temperaturer med höjd luftfuktighet. Av dessa två är det snarare temperaturen än luftfuktigheten som bidrar till ökad partikelproduktion. Det är ju knappast troligt att det eldas mer för att kompensera en högre luftfuktighet. Vi kan dock inte avfärda luftfuktighetens inverkan på partikelhalten förrän det finns bevis för detta.

Inledningsvis i detta kapitel nämndes att urbana partikelmätningar med liknande resultat utförts i bl a Tyskland. I en mer uppseendeväckande jämförelse med mätningar gjorda i Brasiliens regnskogar, utförda av forskare på fysiska institutionen i Lund, demonstrerar resultatet en slående skillnad vad avser partikelhalten i atmosfären (figur 41). Regnskogsluften innehåller avsevärt mindre partiklar än luften i Lund. Det genomsnittliga uppmätta antalet partiklar varje kvart oberoende av storlek var ungefär 650 stycken i regnskogen jämfört med ungefär 10 000 stycken i Lund. Luften i Lund är med andra ord i genomsnitt mer än 15 gånger så partikelrik! Brasiliendatan indikerar också till skillnad mot Lundadatan att partiklar med storlekar mindre än ungefär 50 nm är mycket sällsynta.



Figur 41. Exempel på partikelmätning från Brasiliens regnskog utförd av doktorand Chang vid fysiska institutionen i Lund. Diagrammet visar storleksfördelningen på den genomsnittliga partikelkoncentrationen (partiklar/cm³) under ett dygn uppmätt i april år 1998. Ur koncentrationssynpunkt uppvisar regnskogsmätningarna avsevärt lägre partikelhalter jämfört med motsvarande urbana mätningar i Lund. Sett till hela det brasilianska materialet återfinns de högsta halterna i huvudsak på gränsen mellan Aitken- och ackumuleringsmoden kring 100 nm. Toppvärdena inom detta område överstiger sällan 1 400 partiklar/cm³. Observera skalans mycket låga maxvärde.

En svaghet i detta arbete är att partikelförhållandena endast undersöktes under knappt tre månader. Resultatet speglar följaktligen inte aerosolernas dygnsvariationer och långväga transporter under ett genomsnittligt år på ett korrekt sätt. Säsongernas olika unika meteorologiska förhållanden kan antas vara av stor betydelse för hur mönstret kommer att se ut i dygnsvariationerna. En fördjupad analys av den relativa luftfuktighetens påverkan på partikelhalten är i detta sammanhang särskilt viktig då de svaga samband som tycks existera i denna undersökning var behäftade med stora osäkerheter. Framtida partikelmätningar bör därför om möjligt utföras under ett längre tidsperspektiv. Mätningarna bör dessutom kompletteras med mer exakta nederbördsdata än vad som användes i detta arbete. Detta för att kunna studera nederbördens påverkan på framförallt de större partiklarna inom ackumuleringsmoden. Den relativa nederbördsdata från DMI skall dock inte förkastas, då den är ett viktigt komplement som ger en god helhetsbild över regionens nederbördssituation. Partikelmätningen bör vidare kompletteras med solintensitetsmätningar, där skillnader i partikelkoncentrationen mellan soliga och molniga dagar kan studeras. Nyligen gjorda mätningar i Europa har visat att det kan finnas viktiga skillnader i partikelkoncentrationen mellan moln och molnfria dagar. Vidare bör trajektoriedatan i framtida studier anskaffas i numerisk form så att noggrannare statistiska beräkningar kan utföras. Som fallet var i denna undersökning kunde endast en empirisk analys utföras, vilket innebär subjektiva och mindre exakta bedömningar av datan.

Partikelmätning bör vidare utföras både inom och utanför staden i olika väderstreck för att få ett bättre jämförande underlag i analysen. Detta innebär emellertid att det krävs flera DMPS-system. För att en sådan större mätning ska kunna bli genomförbar bör DMPS-systemen utformas så att minimal översyn krävs. Strävan bör vara att göra systemet självgående. Text bör den manuella regelbundna flödeskontrollen göras helautomatisk med tätare utförda kontroller än vad som i skrivande stund är möjligt. Till sist kan denna undersökning göras ännu bättre genom att utnyttja det befintliga materialet i ett jämförande tidsperspektiv med framtida partikelmätningar i Lund.

4. SLUTSATSER

Mätdata har visat att det finns tydliga dygnsvariationer i atmosfärens partikelantal. *Slutsatsen av iakttagna dygnsvariationer är att de mycket väl speglar den antropogena verksamheten i staden Lund och då främst fordonstrafikens typiska mönster under dygnet.* Analysen har vidare visat att meteorologiska förhållanden inte direkt påverkar partikelantalet. Indirekt antas emellertid låga temperaturer påverka antalet partiklar genom att en ökad kyla resulterar i en ökad förbränning av bl a villaolja.

Under hela mätperioden kännetecknas den genomsnittliga partikelkoncentrationen av en stark dominans av partiklar inom nukleeringsmoden oavsett ifall mätdata delas in i vardagar och helger. Under nätter är emellertid koncentrationerna mycket låga – i genomsnitt sex gånger lägre än under dagen. *Slutsatsen är att koncentrationspuckeln inom nukleeringsmoden härstammar från den lokala fordonstrafiken.* Storleksfördelningen uppvisar under vissa tillfällen två tydliga koncentrationspucklar, en i nukleeringsmoden och en i ackumuleringsmoden. Analysen visar att det finns ett samband mellan regionala vindriktningar och partikelhalter inom ackumuleringsmoden. *Slutsatsen är att de sekundära partiklarna inom ackumuleringsmoden härstammar från Centraleuropa och då främst de sydöstra regionerna.*

Vidare indikerar analysen att de olika partikelstorlekarnas genomsnittliga koncentrationer varierar över dygnet på ett högst intressant sätt. Partiklar inom nukleeringsmoden och Aitkenmoden tycks under dagens lopp storleksmässigt öka för att så småningom nå partikelstorlekar inom ackumuleringsmoden. Det finns emellertid inga direkta bevis för att detta fenomen verkligen sker. *Slutsatsen är att det krävs mer forskning för kunna förstå partikelomvandlingen.* Avslutningsvis visar undersökningen att det finns många oklarheter i förhållandet mellan partikelhalt och olika meteorologiska faktorer. *Slutsatsen är att det krävs dels tidsmässigt längre studier, dels studier med större omfattning jämfört med vad som genomförts i detta arbete.*

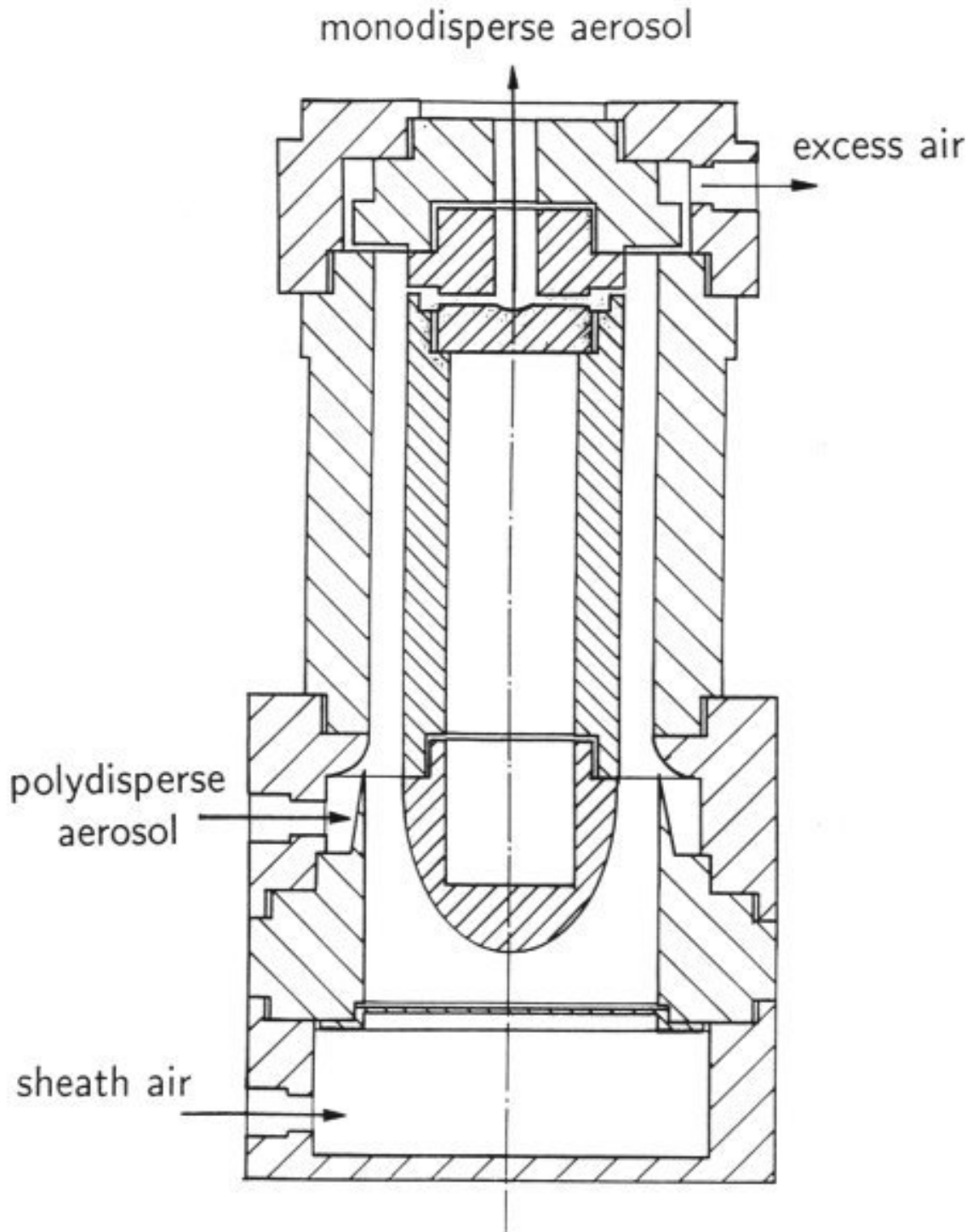
REFERENSER

- Birmili, W. (1998): *Production of new ultrafine aerosol particles in continental air masses*, Institute for Tropospheric Research, Leipzig.
- Bohgard, M. ed (1994): *Aerosoler*, NOSA & LTH, Lund.
- Crutzen, P.J. et al (1993): *Atmospheric Change - An Earth System Perspective*, Freeman and Company, New York.
- Donaldson, K. et al (1998): Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury, *Journal of Aerosol Science*. Volume 29, 553-560
- Holmström, T. et al (1996): *Miljöeffekter – kompendium i miljövard (del 4)*, Norstedts Tryckeri AB, Stockholm.
- Houghton, J. (1997): *Global Warming – the complete briefing*, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (1994): *Radiative Forcing of Climate Change*, report of the Scientific Assessment, WMO & UNEP.
- Kittelson, D.B. (1998): Engines and nanoparticles: A Review, *Journal of Aerosol Science*. Volume 29, 575-588
- Klimatdelegationen (1995): *Jordens klimat förändras – en analys av hotbild och globala åtgärdsstrategier*, SOU 1995:96, Stockholm
- SCB (1998): *Statistisk Årsbok '99*, Norstedts Tryckeri AB, Stockholm
- SMHI (1998): *Nederbördssammanställning 1998*, SMHI Malmö
- Stanners, D. et al (1995): *Europe's environment – The Dobris Assessment*, European Environment Agency, Copenhagen.
- Toresson, S. et al (1997): *Luftvård*, Svenskt Tryck, Surte.
- Trenberth, K. E. ed (1992): *Climate System Modeling*, Cambridge University Press, London
- TSI (1994): *Instruction Manual – Condensation Particle Counter Modell 3010*, TSI Incorporated, USA

INTERNETREFERENSER

- AES, (1998): Atmospheric Environment Service (Canada), (981223) <http://www1.tor.ec.gc.ca/>
- DMI, (1998): Danska Meteorologiska Institutet, (Danmark), (981223) <http://www.dmi.dk/>
- OMSZ, (1998): Ungerska Meteorologiska Institutet (Országos), (981223) <http://www.met.hu/>

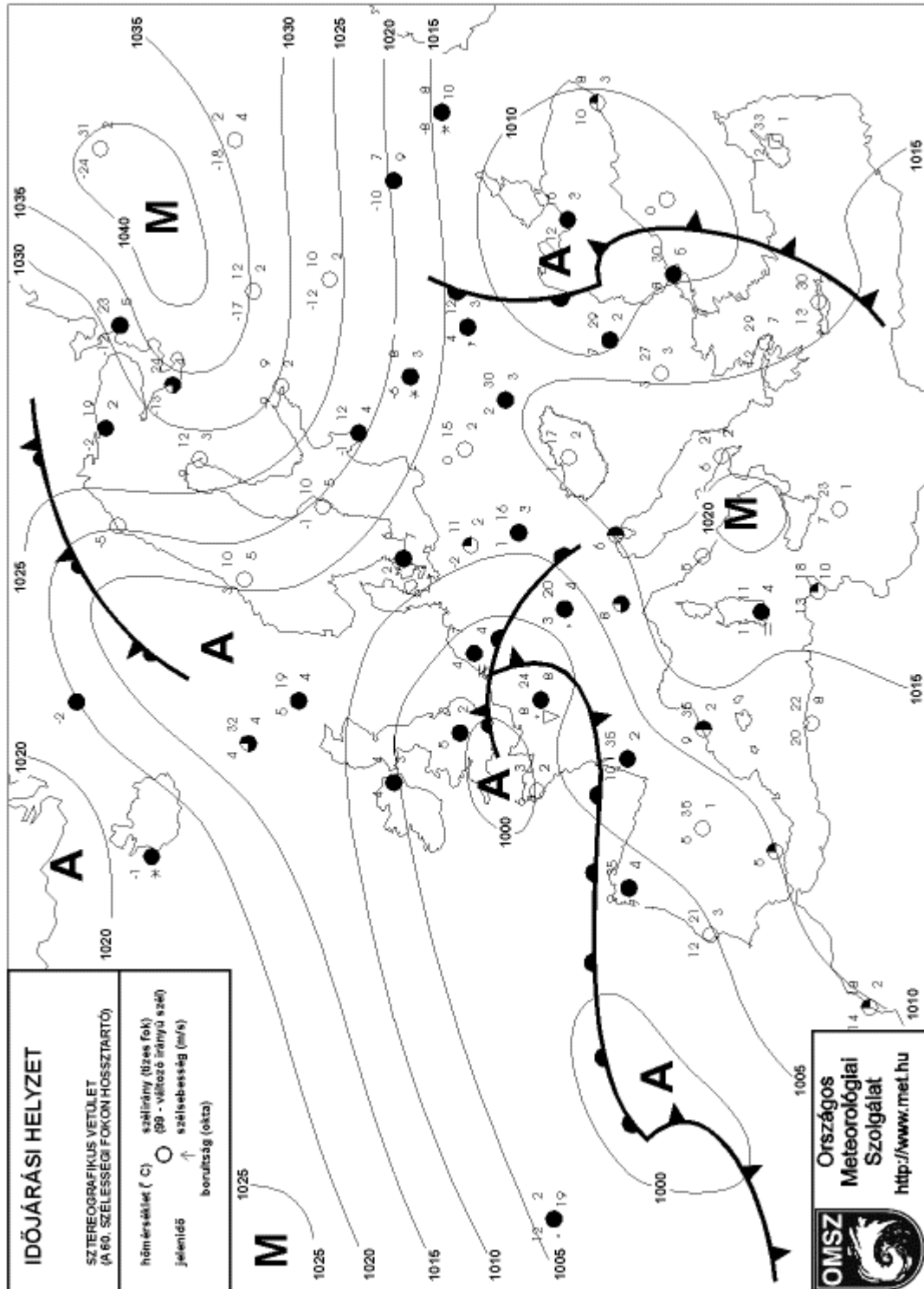
BILAGA 1. DMA (Differential Mobility Analyser)



Figuren visar en genomskärning av DMPS-systemets hjärta den sk DMA:n (Differential Mobility Analyser). Genom centrumelektroden delas de luftburna partiklarna upp med hänsyn till deras elektriska egenskaper. Den smala skåran på centrumelektroden extraherar partiklar med en bestämd elektrisk mobilitet, som därefter kan räknas i en partikelräknare.

BILAGA 2. Luftrycksdata

Luftryckssituationen i regionen bestämdes bl a med hjälp av luftryckskartor från Ungern via internet enligt exemplet nedan (OMSZ, 1998). Denna luftrycksinformation tillsammans med luftrycksdata från den meteorologiska mätstationen utnyttjades i DMPS-systemet för att utföra partikelmobilitetsberäkningar ur vilka partikelantal och storleksfördelningar sedan kunde erhållas.

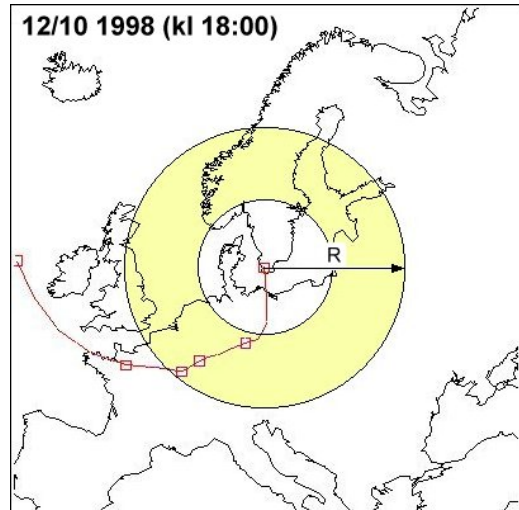


BILAGA 3. Trajektoriedata

I trajektorierna nedan representerar varje fyrkant ett luftpakets geografiska läge x antal dygn tillbaka med start från Lund. Samtliga markerade luftpaket befinner sig i närheten av markytan vid lufttrycket 1 000 hPa. I samtliga figurer motsvarar den yttersta cirkelns radie (R) ungefär 1 000 kilometer.

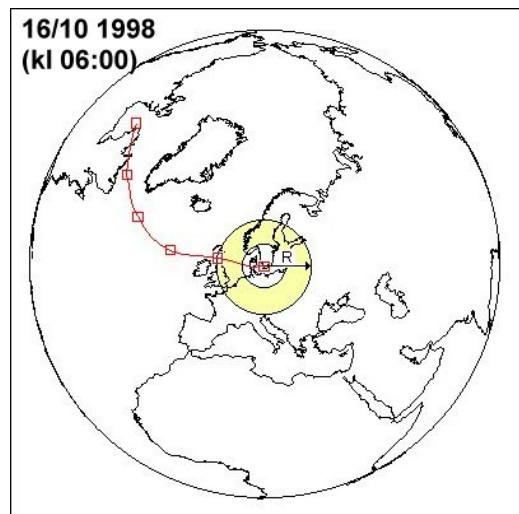
Kontinentalexemplet

Den 12/10 kl 18:00 befann sig ett luftpaket över Lund som ett dygn tidigare hade befunnit sig nere i Tysklands Ruhrområde. Det hade då transporterats drygt 500 km under ett dygn. Sett från Lund hade det tre dygn tidigare befunnit sig över Parisregionen. Sannolikheten att DMPS-systemet i Lund registrerade partiklar ifrån dessa industrialiserade områden är mycket stor i framförallt ackumuleringsmoden.



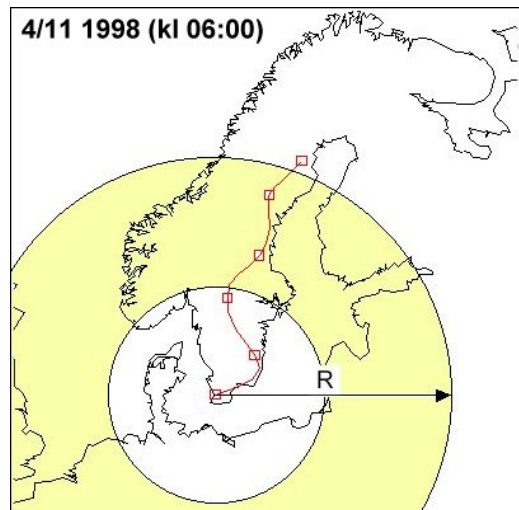
Atlantenexemplet

Den 16/10 kl 06:00 visar hur ett luftpaket på endast ett dygn transporterats ungefär 1 000 km. I detta fall har transportvägen i huvudsak varit över Atlanten med start borta i Kanada 5 000 km bort. Luftpaketet kan av detta skäl väntas vara betydligt renare än ovanstående kontinentalexempel. Dock innebär passagen över Köpenhamn och dess geografiska närhet till Lund att luftpaketet kan antas vara berikat med partiklar både från den finare Aitkenmoden och den grövre ackumuleringsmoden.



Sverigeexemplet

Den 4/11 1998 kl 06:00 registrerade DMPS-systemet i Lund partiklar från ett luftpaket som fem dygn tidigare hade befunnit sig i trakterna kring Piteå, endast 1 000 km bort. Detta och ovanstående exempel belyser vilka enorma skillnader i transportsträckor som olika luftpaket utsätts för. Ur partikelsynpunkt kan luftpaketet i detta Sverigeexempel förväntas vara förhållandevis partikelfattigt. Luftpaketet har åkt "slalom" mellan de största städerna i Sverige och därmed undvikit de främsta partikelkällorna i norr.



BILAGA 4. Temperatur

Samtliga figurer nedan visar det faktiska uppmätta medelvärdet på temperaturen varje kvart under mätperiodens olika dygn.

Under mätperioden var temperaturen högst i oktober, men låg enligt SMHI ändå något under den normala temperaturen för månaden.

Max: +14,3 °C

Min: +3,4 °C

Medel: +8,6 °C

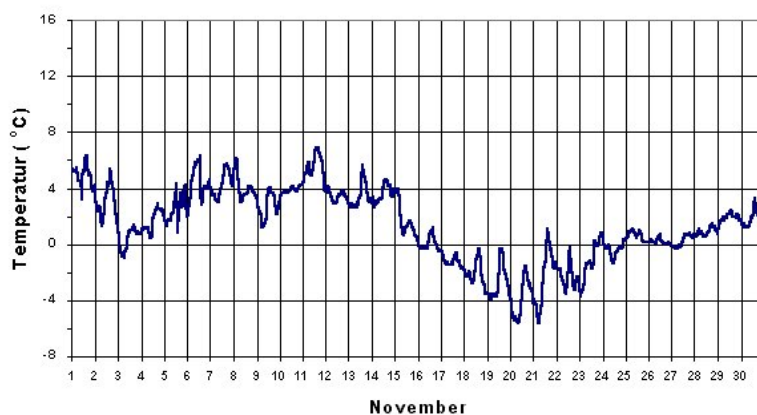


Under hela november sjönk temperaturen drastiskt till nivåer långt under det normala. Särskilt senare delen av november var ovanligt kall.

Max: +6,9 °C

Min: -5,6 °C

Medel: +1,3 °C

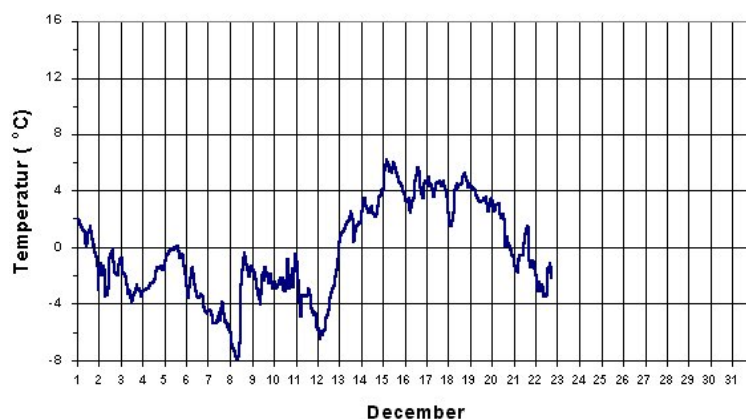


Temperaturerna i december fortsatte till en början att ligga långt under det normala, men vid månadens mitt steg temperaturen till nivåer som låg något över det normala för perioden.

Max: 6,2 °C

Min: -7,9 °C

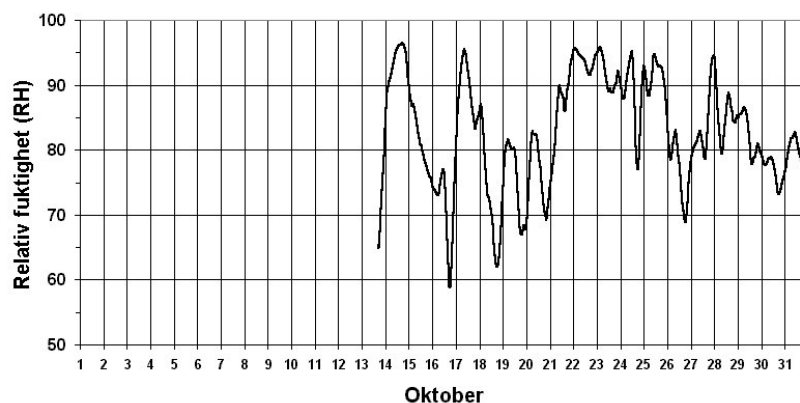
Medel: -0,3 °C



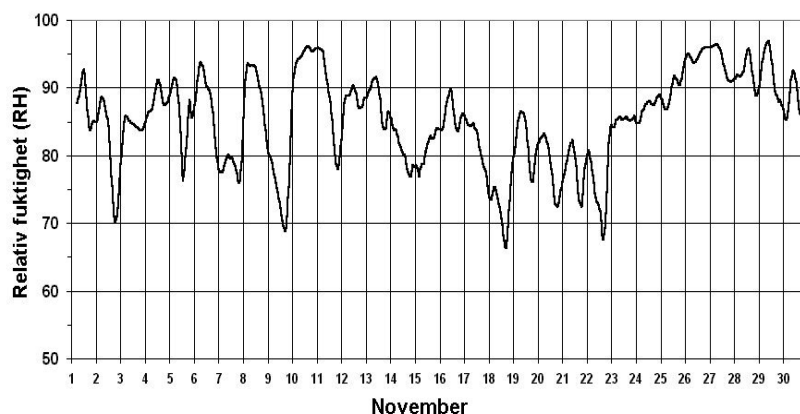
BILAGA 5. Relativ luftfuktighet

Samtliga figurer nedan visar det löpande medelvärdet för den relativa luftfuktigheten under 6-timmars intervall.

Under oktober var den relativa luftfuktigheten högst varierad, från omkring 60 till 95%. Nederbörden var ovanligt riklig denna månad med mer än dubbelt så mycket regn jämfört med det normala för månaden.
 Max: 97%
 Min: 54%
 Medel: 83%



November månads relativa luftfuktighet gick sällan under 70%. Nederbörden under månaden motsvarade enligt SMHI knappt hälften av den normala.
 Max: 98%
 Min: 58%
 Medel: 85%



December kännetecknas av en relativ luftfuktighet som sällan befann sig under 80%. Vid flera tillfällen låg fuktigheten kring eller över 100%. Nederbörden var annars ganska normal för månaden (SMHI, 1998).
 Max: 107%
 Min: 71%
 Medel: 91%

