

# Karaktärisering av partiklar på biologiska ytor och i luft med SEM-EDX

KBTX16-VT24-07

Kandidatarbete inom Kemi och Kemiteknik

Tola Ahmed  
Petra Al-Yousifi  
Melina Basic  
Louise Elmberg  
Hanna Holmgren  
Amanda Larsson

**INSTITUTIONEN FÖR KEMI OCH KEMITEKNIK**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

## **Förord**

Vi vill tacka våra handledare Per Malmberg, Jonas Sjöblom och Pavleta Knutsson för allt stöd under arbetets gång, samt alla trevliga möten som vi har haft tillsammans och den expertis de har gett oss. Vi vill ge ett extra tack till Robin Faust som har handlett den experimentella analysen och Jonas Sjöblom för extra stöd i multivariat dataanalys. Utöver våra handledare vill vi ge ett tack till personalen på Chalmers bibliotek och fackspråksavdelningen för hjälpen som har getts under skrivprocessen. Slutligen vill vi även rikta ett tack till arbets- och miljömedicinska avdelningen på Sahlgrenska för inbjudan till studiebesök, där vi fick ta del av den forskning som bedrivs där kopplad till partiklar och luftföroreningar.

## Sammanfattning

Studien fokuserar på att utvärdera svepelektronmikroskopi i kombination med energidispersiv röntgenspektroskopi (SEM-EDX) som analysmetod för partikelinnehåll på biologiska ytor, specifikt löv. Studien omfattar även analys av luftpartiklar insamlade från 3 insamlingar med elektrisk lågtrycksimpaktor (ELPI+) från två olika månader (oktober och mars) undersökt med hjälp av två olika uppsamlingsfilmer (aluminium och polykarbonat). Partiklarna som analyserats med SEM-EDX har karakteriserats utifrån atomslag och atomkoncentration (%). Mätvärdena har analyserats med multivariat dataanalys (SIMCA) för att jämföra och gruppera mätdata. Studiens resultat visar att partikelinnehållet i löv och luft skiljer sig åt. De atomslag som upptäcktes på löven återfanns även i luften, men med varierande koncentrationer. Likaså visade resultaten att variationen mellan luftproverna från mars och oktober inte innebar skillnader i atomslag, utan endast variationer i atomkoncentrationer. Resultatet av partikelinnehållet kopplades till möjliga ursprungskällor samt hälsoeffekter.

# **Characterization of particles in biological surfaces and in air with SEM-EDX**

## **Abstract**

The study focuses on evaluating scanning electron microscopy in combination with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX) as an analytical method for particle content on biological surfaces, specifically leaves. It also includes analysis of airborne particles collected from 3 samplings using electric low pressure impactor (ELPI+) from two different months (October and March), as well as on two different collection films (aluminum and polycarbonate). The particles analyzed with SEM-EDX will be characterized based on elemental composition and atomic concentration (%). The measured values were analyzed using multivariate data analysis (SIMCA) to compare and group the data. The results of the study indicate that the particle content in leaves and air differs to some extent. The elements detected on the leaves were also found in the air, but with varying concentrations. Similarly, the results showed that the variation between air samples from March and October did not entail differences in elemental composition, but only variations in atomic concentration. The results of the particle content were linked to possible sources of origin and health effects.

# Innehållsförteckning

<b>Förord</b>	<b>1</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>4</b>
<b>1. Inledning</b>	<b>6</b>
1.1 Syfte	6
1.2 Problem	6
1.3 Avgränsningar	7
1.4 Samhälleliga och etiska aspekter	7
<b>2. Bakgrund</b>	<b>8</b>
2.1 Partiklar	8
2.1.1 Partiklar och ohälsa	8
2.1.2 Partiklar på ytor	9
2.2 Kemisk analys	9
2.2.1 ELPI+	9
2.2.2 SEM-EDX	10
2.3 Multivariat dataanalys	12
<b>3. Utförande</b>	<b>12</b>
3.1 Insamling av löv	12
3.2 Insamling av partiklar ELPI+	12
3.3 Analys	12
3.3.1 Förstudie med ESEM	13
3.3.2 SEM-EDX	13
3.3.3 Multivariat dataanalys	13
<b>4. Resultat</b>	<b>14</b>
4.1 SEM	14
4.1.1 Förstudie ESEM	14
4.1.2 SEM-EDX löv och luftprov	14
4.2 Multivariat dataanalys	15
4.2.1 Luft partiklarnas innehåll	15
4.2.2 Löv	18
4.2.3 Löv vs Luft	19
<b>5. Diskussion</b>	<b>21</b>
5.1 Utvärdering av analysmetoden SEM-EDX.	21
5.2 Partiklarnas möjliga ursprung	22
5.2.1 Bromsbelägg och bromsskiva	22
5.2.2 Vägslitage	22
5.2.3 Blandade källor	23
5.2.4 Vägsalt	23
5.2.5 Fuktighet	23
5.2.6 Säsongsvariationer	23
5.3 Partiklars påverkan på miljö	24
5.4 Partikelinnehåll och hälsa	24
5.4.1 Tungmetaller	24
5.4.2 Övriga metaller	24
5.4.3 Kisel	25

5.5 Felkällor	25
5.5.1 Säsongsvariation mellan löv och luftpartikelinsamling	25
5.5.2 Händelse av betydelse för luftkvalitén	25
5.5.3 Kontamination vid hantering	26
5.5.4 Typ av uppsamlingsfilm	26
5.5.5 Typ av löv	26
5.5.6 Datahantering	27
5.6 Framtida studier	27
5.6.1 Påverkan av nya system på luftkvalité och lövdeposition	27
5.6.2 Introduktion av andra vägtillsatser	27
5.6.3 Val av område	27
5.6.4 Säsong	27
5.6.5 Annan kompletterande analysteknik	27
<b>6. Slutsats</b>	<b>28</b>
<b>Källförteckning</b>	<b>29</b>
<b>Bilagor</b>	<b>32</b>
A.1 Nomenklatur	32
A.2 Insamling löv	33
A.3 Demonstration på hur lövprover togs	33
A.4 Bild på hur luftpartiklarna från ELPI+ analyserades	34
A.5 Blankprov på löv	34
A.6 Blankprov på bakgrunden av ELPI+, Aluminiumplattor.	34
A.7 Blankprov på bakgrunden av ELPI+, Polycarbonate collection foils	34
A.8 Partikelinnehåll från ESEM	35
A.9 Sammanställning av partikelinnehållet på prover från ELPI+ mars, Al	36
A.10 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på prover från ELPI+ mars, Al	36
A.11 Sammanställning av partikelinnehållet på prover från ELPI+ oktober, Al	37
A.12 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på prover från ELPI+ oktober, Al	37
A.13 Sammanställning av partikelinnehållet på luftprover från mars, Plast	38
A.14 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på luftprover från mars, Plast	38
A.15 Sammanställning av partikelinnehållet på lövprover från februari	39
A.16 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på lövprover från februari	39
A.17 Sammanställning av medelvärde av partikelinnehållet på samtliga prover	40
A.18 Sammanställning av korrigerade medelvärde av partikelinnehållet på samtliga prover	40
A.19 LUFT plast vs aluminium	41
A.20 Loading-plot över hur proverna varierar med årstid	41
A.21 Loading-plot över hur proverna varierar med uppsamlingsfilm	42
A.22 Luft vs Löv OPLS score-plot	43
A.23 Analys hur luft och löv varierade med månad	43
A.24 Partikelstorleksfördelning luftpartiklar uppmätta i oktober på aluminiumfilm	44
A.25 Partikelstorleksfördelning luftpartiklar uppmätta i mars på polykarbonatfilm.	44
A.26 Partikelstorleksfördelning luftpartiklar uppmätta i mars på aluminiumfilm.	45

## 1. Inledning

Människan exponeras dagligen för osynliga men hälsofarliga partiklar, exempelvis luftföroreningar i form av partiklar. Partiklarna tas upp av människokroppen och påverkar den allmänna hälsan negativt. Exponeringen av partiklar har kopplats till bland annat luftvägssjukdomar, lungcancer och hjärt- och kärlsjukdomar (1). Globalt har luftföroreningar, både i inomhusmiljö och utomhusmiljö, visat sig vara orsak till mer än 6,5 miljoner dödsfall per år (2).

Urbaniseringen medför att allt fler människor flyttar till städer och denna trend fortsätter än idag. Detta fenomen har däremot en baksida när det gäller luftens kvalitet och människohälsan. Vid ökad befolkningstillväxt ökar även belastningen på trafiken, vilket orsakar ökade mängder partikelutsläpp i luften (3). I det moderna samhället har även användningen av elbilar ökat (4). En fördel med elbilar är den minskade utsläppen av koldioxid och kolmonoxid, men en observerad nackdel är att elbilar leder till högre mängd vägslitage och därmed högre halter partikelutsläpp (5).

I Europas städer är det biltrafiken som är huvudkällan till de uppmätta luftföroreningarna och på landsbygden kommer utsläppen mestadels från uppvärmning i hushåll med ved och kol (6). Jämförelsevis spelar lokaltrafiken en avgörande roll för partikelutsläpp i miljön i norra Sverige. I södra Sverige påverkas däremot miljön till större del av närheten till Europa, varifrån vindarna för med sig partiklar från framförallt långdistans transporter. Partiklar kopplade till transport utgör 60% av den totala exponeringen av partiklar som befolkningen i Sveriges södra städer utsätts för (7). Partiklarna kan uppkomma från slitage av däck, bromsar och vägbana (8). Majoriteten av dessa partiklar utgörs av små partiklar och kan bestå av organiska kolföreningar, metaller och sot (6).

Enligt mätningar från Naturvårdsverket, har partiklar mindre än  $2.5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) i luften i Sverige minskat de senaste åren (8). För att möjliggöra en fortsättning av den positiva trenden med minskande partikelhalter behövs likväl fler åtgärder och ett aktivt engagemang från samhället. För att hantera detta globala problem krävs även ökad information och fördjupad förståelse angående dispersionen av luftburna partiklar, samt dess interaktion med biologiska ytor. Det är även vid yttersta vikt att kunna karakterisera och identifiera vilken typ av partiklar som avsätts på biologiska ytor (8).

### 1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att karakterisera partiklar i luft och på lövs yta, i Göteborg. Ett ytterligare syfte med studien är att undersöka om partiklar på en biologisk yta, i det här fallet löv, kan undersökas med svepelektronmikroskopi i kombination med energidispersiv röntgenspektroskopi (SEM-EDX). De två olika insamlingsmetoderna, elektrisk lågtrycksimpaktor (ELPI+) och biologisk yta, jämförs därefter med avseende på partikelinnehåll och storleksfördelning.

Trafiken i Göteborg ökar till följd av bland annat ökad befolkningsmängd och ökad transport. Partiklar kommer förr eller senare deponeras på ytor närmast vägarna eller blir upptagna av biologiska organismer. Löven som undersöks i denna studie tillhör närområdet vid motorvägen i Gårda och de representerar en biologisk yta men utgör även en fysisk yta nära motorvägen. Löv som samlas in kan ge en indikation på depositionen av partiklar från luften över tid. Analys av löv och luftens sammansättning används för att undersöka olika transportvägar och depositionsmonster för partiklar. För att förutsäga partiklarnas effekter på människohälsa och miljö är det vitalt med karaktärisering av sammansättningen.

### 1.2 Problem

Partiklarna i studien insamlades med ELPI+ och löv i Gårda. Utifrån karaktärisering av partiklar från de olika insamlingsmetoderna, analyseras resultaten med hjälp av multivariat dataanalys (MVDA). MVDA ger en inblick i hur partikelinnehållet fördelas och vilka möjliga relationer som finns mellan de olika proverna.

Vidare innehåller studien en litteraturgenomgång, med information om partikelinnehållets möjliga ursprung och partiklarnas påverkan på människokroppen, med fokus bland annat eventuella sjukdomar som kan uppkomma till följd av partiklarna och deras beståndsdelar.

### **1.3 Avgränsningar**

Studien är begränsad både i tid och geografiskt omfång, och därför måste resultaten tolkas med försiktighet. Forskningen fokuserade specifikt på området Gårda i Göteborg, vilket är kännetecknat av hög trafiktäthet (9). Denna lokalisering innebär att partiklarnas sammansättning som samlades in från luften i detta område möjligen inte är representativ för andra, mindre trafikerade eller geografiskt skilda områden. Således kan resultaten från Gårda inte generaliseras till att spegla luftens sammansättning i andra delar av världen. Detta på grund av varierande externa faktorer som väderförhållanden och lokala trafikvanor, vilka båda signifikant kan påverka luftkvaliteten (8,10).

För att ytterligare belysa effekterna av luftföroreningar analyserades löv som biologiska ytor inom det specificerade området. Även om löven ger en indikation på partikeldeposition över tid, är de inte tillräckliga för att dra heltäckande slutsatser om effekterna på andra biologiska ytor eller organismer. Därför begränsas slutsatserna i denna studie till de direkt observerbara effekterna på löven, och kan inte användas till att förutsäga konsekvenserna för andra biologiska system eller organismers respons på luftkvalitetsvariationer.

Från insamlingen med ELPI+ undersöks partiklar av storlek 6 nm till 10 µm. Detta på grund av att impaktor-stegen fördelas i dessa storlekar. Denna avgränsning gör att en del mindre partiklar inte identifieras och därmed inte karaktäriseras i denna studien.

Insamling av materialet som analyserades, skedde i början av arbetet, för att ha tid till analysering. Studien är därför begränsad till en viss tidsperiod, med undantag att ett antal luftprover från oktober erhöles. Således är arbetet begränsat och en analysering kan till viss del ta plats för att jämföra årstider på grund av de olika insamlade luftproverna. För en mer tillförlitlig analys hade löv- och luftinsamlingar behövt ske under flera olika månader.

### **1.4 Samhälleliga och etiska aspekter**

I denna studie skedde inga människo- eller djurförsök. Detta innebär att inget etiskt tillstånd krävdes för denna studie. Det biologiska materialet, löven, plockades från träd, men ingen stor påverkan på naturen skedde. Insamlingen påverkade inte invånarna i området men studiens resultat är av betydelse för alla invånare oavsett kön, ålder och etnicitet.

Studien undersökte och karakteriserade partiklar som fanns i Göteborg. Detta kan ge samhällsnyttig information om den luft som både människor och djur andas in och om de partiklar som fastnar på levande organismer och andra fysiska ytor i vår omgivning. Litteraturgenomgången i studien kommer också kunna bidra med information om hur partiklarna kan påverka vår hälsa och kropp, vilket på lång sikt skulle kunna påverka och bidra till nya lagar och direktiv kring utsläpp av partiklar. Om SEM-EDX ger bra upplösning och visar sig vara en bra metod för att analysera och karakterisera partiklar, kan denna information bidra till vidare forskning med metoden, vilket i sin tur skulle kunna leda till ökad kunskap om partiklar i vår omgivning.

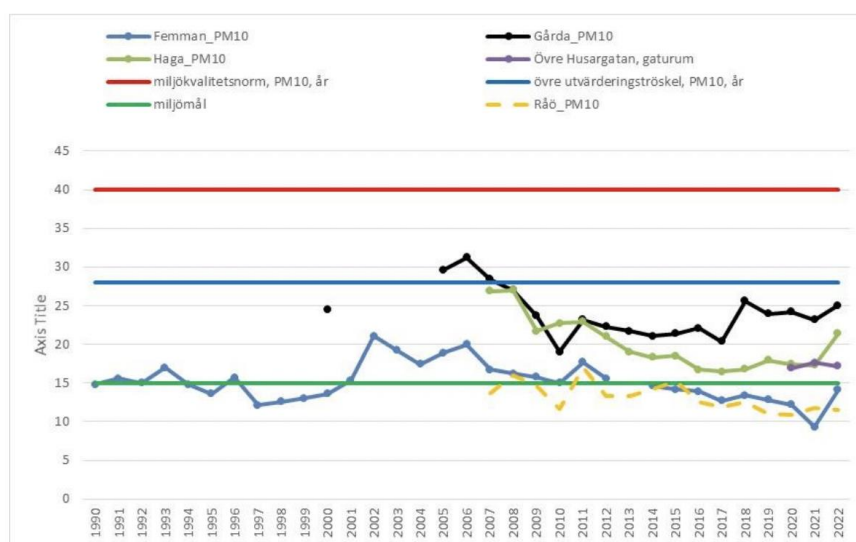
ELPI+ som används vid insamling av partiklar är ett dyrt instrument. Genom att undersöka om det går att använda fragment från löv som ett alternativ för att få en likvärdig bild av luftpartiklarna som samlats in med ELPI+, kan detta vara användbart vid karaktärisering av luftinnehåll.

## 2. Bakgrund

### 2.1 Partiklar

Luftföroreningar utgör en sammansättning av gaser och partiklar som förekommer i atmosfären. Luftburna partiklar (PM) är, precis som namnet antyder, små partiklar (med diameter 1 nm-100 µm) som kan sväva i luften. Inom vetenskapen kallas de ofta aerosoler vilket kännetecknas av fasta och flytande partiklar i kombination med gaser. Partiklar i större storlek faller till marken och har en sämre spridningsförmåga. Partiklarna mindre än 1 nm i diameter är svåra att urskilja från gasmolekyler (7).

Mätning av partikelinnehåll i luften i Göteborg visar att partikelkoncentrationen av PM<sub>10</sub> är högre än vid andra mätplatser i Västra Götalands kommun, se figur 1. Mätningarna visar att koncentrationen PM<sub>10</sub> i luften år 2022 är lägre än miljö kvalitetsnormen, men högre än miljömålet (9).



Figur 1. Årsmedelvärden (1990 – 2022) av partiklar (PM<sub>10</sub>) vid kontinuerliga mätstationer i Göteborg samt vid den nationella bakgrundsstationen Råö (Rörvik t.o.m. 2001) utanför Kungsbacka (9). Återgiven med tillstånd.

#### 2.1.1 Partiklar och ohälsa

Luftföroreningar är som tidigare nämnts en stor bidragande faktor till ohälsa globalt. Exponering av luftföroreningar ökar risken för kardiovaskulära sjukdomar, demens, stroke och lungsjukdomar, såsom till exempel astma, och är därför en bidragande faktor till för tidig död. 2019 levde nästan 99% av den globala befolkningen i en miljö där luften var förorenad över världshälsoorganisationens (WHO) gränsvärden (11). Luftföroreningar påverkar i princip alla människor i hela världen men vissa grupper är mer utsatta än andra, exempelvis personer med nedsatt immunförsvar eller som har andra sjukdomar (11,12)

Forskning visar på att immunförsvaret blir överreaktivt vid kronisk exponering av luftföroreningar vilket leder till ökade nivåer av immunmarkörer och ökad inflammation i kroppen. Detta leder till lokal inflammation i olika organ, vilket är en stor bidragande faktor för utveckling av flera sjukdomar, bland annat de ovan nämnda.

PM är en av de huvudsakliga beståndsdelarna i luftföroreningar och innehåller olika kemikalier och metaller. Beroende på partiklarnas storlek transporteras de till olika platser i kroppen. Inandning av PM större än 10µm fastnar i de övre luftvägarna, där de kan orsaka allergiska reaktioner och irritation samt minska det epiteliala försvaret i lungan, vilket fungerar som en första barriär mot luftburna

smittämnen. Partiklar mindre än 2,5 $\mu$ m kan passera blod-lungbarriären, ta sig ut i blodomloppet och transporteras till andra organ (13,14). Partiklar kan även trigga immunförsvaret som då kommer att ge ett immunologiskt svar, vilket i sin tur leder till oxidativ stress och inflammation i kroppen som på sikt kan leda till flera olika sjukdomar såsom hjärt- och kärlsjukdomar, demens och cancer (12,15). Oxidativ stress sker när det finns en obalans mellan fria syreradikaler (ROS), reaktiva syreföreningar, och antioxidanter i kroppen som kan neutralisera ROS. ROS bildas naturligt i kroppen i och med vår andning, men när halten ROS blir för hög gentemot halten antioxidanter kan ROS börja reagera med kroppens vävnader och ge inflammation (15–17). ROS bidrar till cellskador, DNA-skador och vävnadsskador vilket triggar ytterligare inflammation (18,19).

Det har också visat sig att PM kan minska funktionen hos de alveolära makrofagerna liksom andra immunceller vilket leder till ökad risk för att drabbas av infektion. Partiklar kan även tas upp via näsan och ta sig upp till hjärnan, vilket kan vara kopplat till risk för utveckling av demens (12). Även huden, kroppens största organ, kan ta upp partiklar genom hårfolliklar, svettkörtlar och genom lipidkanaler (13,20).

Forskning visar att det finns fyra huvudsakliga mekanismer till cellskada orsakad av PM: oxidativ stress, genotoxicitet, inflammation och celledöd (18). Det är framförallt de partiklar som innehåller metaller, tungmetaller och kisel som är skadliga för kroppen, eftersom de påverkar mitokondrierna till att bilda fria radikaler (ROS) och därmed oxidativ stress vilket i sin tur leder till inflammation (18,19). De inflammatoriska processerna är, som tidigare nämnts, en bidragande faktor till oxidativ stress, på grund av de proinflammatoriska cytokiner som utsöndras i samband med detta. PM minskar också reparation av DNA och ökar replikationen av skadade DNA fragment, vilket ökar risken för cancer. Exponering för PM och de atomslag som de bär på leder alltså till ett sämre immunförsvaret, flera proinflammatoriska processer och cellskador, vilket kan leda till flera sjukdomar (18,19).

### **2.1.2 Partiklar på ytor**

Hur partiklar sprids på en yta beror på vilken fas och medium ytan består av, vilket bidrar till att partiklarna i vissa fall kan lösa upp sig eller absorberas av ytan (21). Tidigare studier har undersökt hur luftpartiklar absorberas och tas upp av olika typer av biologiska ytor (15). Biologiska ytor, som till exempel löv, får sin näring och vatten genom upptag via växtens rötter och bladens yta (22). Hur och vad som absorberas genom löven beror på lövets struktur och storleken på det yttre cellagret (23). Ytterligare forskning har visat att även lövets topografi, som till exempel "hårighet", kan påverka dess förmåga till partikelabsorption (24).

## **2.2 Kemisk analys**

Studiens primära syfte är att analysera partikelinnehållet från de två olika insamlingskällorna, löv och luftpartiklar insamlade med ELPI+. ELPI+ är en insamlingsmetod som används för att samla in och fördela luftpartiklar i storleksordning. Den huvudsakliga analysmetoden i nuvarande studien var SEM-EDX, som presenterar information om topografi, ytstruktur och kemiskt innehåll. Innan metoden användes, undersöktes testprover med en environmental scanning electron microscopy (ESEM) för att ta reda på om det överhuvudtaget går att analysera partiklar på lövets yta.

### **2.2.1 ELPI+**

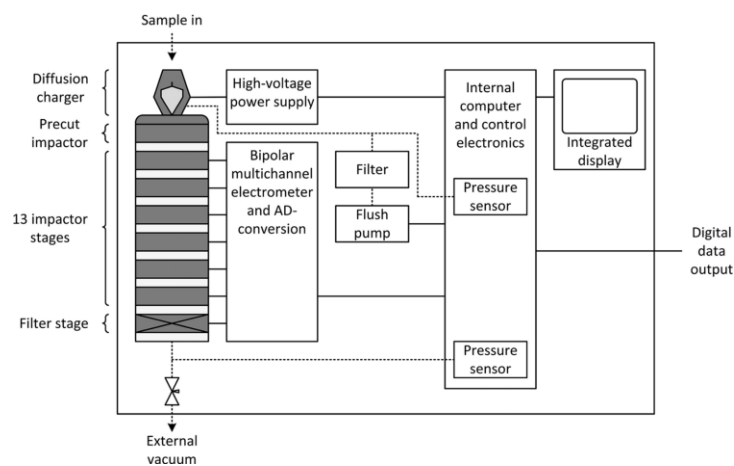
ELPI+ är en avancerad partikelspektrometer som används för att mäta partiklar i luften i realtid. ELPI+ mäter partiklarnas storleksfördelning och koncentration i ett brett storleksintervall från 6 nm upp till 10  $\mu$ m. ELPI+ använder en kaskadimpaktor för att klassificera partiklarna i olika storleksfraktioner och möjliggör även mätningar av partikelladdningens storleksfördelning. ELPI+ kan också användas för att samla in partiklar för kemisk analys efter realtidsmätningen. ELPI+ arbetar enligt en tre-steps mekanism (25,26).

I det första steget passerar de insamlade partiklarna en unipolär diffusionsladdare, vilket är en cylindrisk tub med en nålliknande elektrod som genomför en koronarladdning. Vid

koronaurladdning joniseras aerosolpartiklarna genom att en hög positiv elektrisk spänning på 4 kV appliceras. Eventuella restjoner från koronaurladdningen elimineras från flödet när aerosolflödet passerar mellan två koner med en potentialskillnad på 20 V, vilket skapar ett elektriskt fält för att avlägsna jonerna (26,27).

I det andra steget genomgår partiklarna storleksklassificering genom en kaskadimpaktor. Partiklarna separeras i 14 olika storleksklasser baserat på deras aerodynamiska storlek (25). Impaktorn består av 14 impaktor-steg där det första eliminerar alltför stora partiklar. De följande 13 impaktor-stegen är elektriskt isolerade och är anslutna till en gemensam elektrometer (26,27). De lika laddade partiklarna detekteras genom att mäta strömmen från varje steg. Strömmen från varje steg beräknas genom att ta skillnaden på strömmen in och ut ur vardera steg (28). Den elektriska detektionsmetoden gör instrumentet känsligt för mycket små partikelmassor med hög precision och möjliggör samtidig realtids detektion (26).

Det sista steget omfattar ett filter som fångar upp de allra minsta partiklarna, vilka inte påverkades i impaktor-stegen och är också kopplat till elektrometern. Flödet från filtret är kopplat till en vakuumpump för att mäta både nedströms tryck och absolut tryck i laddningsenheten. ELPI+ kan fungera som en självständig enhet med hjälp av en inbyggd dator som styr driften (27).



Figur 2. Illustrativ bild av en ELPI+. Bilden visar hur partiklarna kan distribueras i 14 olika impaktor-steg, analyseras och ger den mätdata som kan läsas av (26). Återgiven med tillstånd.

### 2.2.2 SEM-EDX

SEM-EDX är en analysmetod som används för kemisk analys och framtagning av högupplösta bilder av provets ytor i mikroskopisk skala. Analysen inleds i kolumn där en elektronkanon skjuter primära elektroner mot provet i en vakuumkanare. Vakuüm krävs för att förhindra elektroner från att krocka med omgivande luftmolekyler. Kolumnen består även av två till tre kondensorlinser som befinner sig nära elektronkanonen och bidrar med att fokusera elektronerna innan de når svepspolarna, som riktar elektronerna mot provet. Syftet med att fokusera elektronerna är att en högre mängd av primära elektroner träffar provet, vilket ger högre signalstyrka (29,30).

Provet analyseras främst med hjälp av tre signaler, sekundära elektroner, bakåtspridda elektroner (eng. backscattered electrons) och röntgenstrålning. När primära elektroner kolliderar med de yttre atomorbitalerna på provet, slås elektroner ut från atomen. Dessa utslagna elektroner kallas för sekundära elektroner och från de erhålls högupplösta bilder som innehåller information om topografin och form (31).

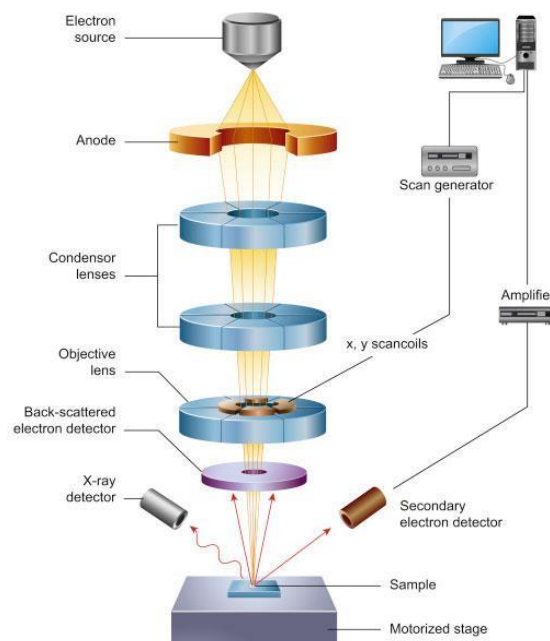
Bakåtspridda elektroner (BSE) är primära elektroner som rör sig mot provets atomkärna och böjs tillbaka på grund av interaktionen med elektroner i provets atomer. Eftersom dessa elektroner kan komma från en större volym av provet ger de inte lika högupplösta bilder som sekundära elektroner.

Däremot innehåller BSE bilder information om sammansättningen av provet där regioner med tyngre atomer genererar fler BSE och är därför ljusare (31).

Primära elektroner kan också kollidera och sparka ut elektroner från provets inre atomorbitaler. Elektronen lämnar atomens orbital och för att fylla tomrummet hoppar elektroner från en högre energinivå till den tomma lägre energinivån, och denna process leder till att röntgenstrålning frigörs. Strålningen som frigörs är specifik eftersom varje atomslag har unika energinivåer för elektronövergångar. Beroende på strålningens energi som frigörs och dess intensitet kan varje atomslag som ingår i provet identifieras och kvantifieras (30). Denna process kallas för energidispersiv röntgenspektroskopi (EDX).

Biologiska prover består till stor del av vatten. Eftersom analysen utförs under vakuumförhållande kan vattnet i proverna genomgå fasomvandlingar, vilket leder till förändringar i materialstrukturen. För att undvika detta kan olika dehydreringsmetoder användas. Därför är det viktigt att undersöka materialets egenskaper och tolerans innan dehydreringen genomförs (29).

På grund av det höga vatteninnehållet har biologiska prover låg ledningsförmåga. Detta resulterar i ackumulering av elektriska laddningar när provet exponeras för elektroner i kammaren. En metod som används för att minska risken för laddningsackumulering är att applicera en tunn guldbeläggning på provet som undersöks (27). En annan metod är att använda lågt vakuum, vilket användes i denna studie. I lågt vakuum finns en liten del molekyler i kammaren som kan plocka elektroner från provets yta och bidra till laddningsutbyte (32).



*Figur 3.* Illustrativ bild av SEM-EDX. Bilden visar hur primära elektroner genereras av elektronkanonen, transporten genom kolumnen och interaktionen med provet (33). Återgiven med tillstånd.

ESEM är en variant av SEM som använder lågt vakuum. ESEM har en starkare elektronstråle och miljön i kammaren kan kontrolleras genom att ändra trycket och använda gaser, som till exempel vattenånga. Detta gör att provet kan undersökas i sitt naturliga och hydrerade tillstånd, utan att genomgå förändringar. Gaserna i kammaren kan däremot kollidera med primära elektronerna, vilket leder till förlust av energi hos elektronerna, vilket kan påverka bildkvaliteten. För att undvika detta problem används olika pumpar som gradvis sänker trycket, och därmed minskar interaktionen mellan primära elektroner och gasen i kammaren (34,35).

## 2.3 Multivariat dataanalys

Efter undersökning av partikelinnehållet från de olika källorna analyseras resultatet med programmet SIMCA (version 1.8) för att få en djupare förståelse för hur partiklarnas innehåll är distribuerat och om de visar några trender. I denna dataanalys kommer innehållet att analyseras med metoden PCA-X och OPLS-DA. Med hjälp av SIMCA kan trender och mönster upptäckas mellan olika klasser (exempelvis lövarter), vilket sedan kan användas för att göra nya upptäckter som till exempel likheter mellan olika klasser och dess data. Utifrån resultaten av PCA-X och PLS analys görs score-plot, scatter-plot och loading-plot för att få en djupare förståelse.

PCA (eng. Principal components analysis) används för att gruppera observationer, samt upptäcka om det finns grupperingar och observationer som avviker från resterande data. PLS (eng. Partial least squares projections to latent structure) är en annan modell som kan användas vid undersökning av olika observationer (36). PLS kan delas in i olika modeller beroende på om modellen skapas med X eller Y variabel. Modellen som används i denna studie är OPLS där skillnaderna mellan X och Y variablerna elimineras, för att sedan bygga en X-Y modell (37). Med hjälp av analyser kan de olika insamlingsmetoderna jämföras.

## 3. Utförande

### 3.1 Insamling av löv

Tre stycken löv insamlades i närheten av Chalmers hållplats i Göteborg, inom ett område på cirka 100 meter kring hållplatsen. Löven samlades från varierande buskar och träd, varav ett var färskt löv, ett torkat löv och ett barr från barrträd. Varje löv placerades i separata glasbehållare och transporterades med försiktighet. De tre löven analyserades i enskild analys med hjälp av ESEM (FEI Quanta 200 FEG) och användes som prover till förstudien.

Åtta löv av olika arter plockades från träd och buskar med hjälp av sax och pincett i Gårda. Arterna identifierades med appen Planto och både svenska och latinska artnamn samt avståndet till motorväg och höjden på träd respektive buskar noterades, se Bilaga A.2. Samtliga löv placerades i individuella, rena behållare och transporterades med försiktighet där de förvarades i ett skåp till undersökningstillfället.

### 3.2 Insamling av partiklar ELPI+

Luftpartiklar samlades in med hjälp av ELPI+ vid E6 i Gårda. Prover samlades in på både aluminiumfilmer och polykarbonatfilmer. Filmerna som användes samlade upp luftpartiklarna i de olika impaktor-stegen i ELPI+. Skillnaden mellan dessa filmer som användes är innehållet, där aluminiumfilmen består av Al och polykarbonatfilmen består av kolgedjor. De två typer av film användes för att undersöka om materialet på filmen påverkade resultatet av det som karakteriserades som partikelinnehållet i SEM-EDX där respektive atomslag skulle identifieras. De insamlade partiklarna erhöles från handledare, dels tidigare insamlade partiklar från oktober 2023 som bevarats i skåp fram tills analys, och dels insamlade partiklar från mars 2024 som erhöles på plats i Gårda. Insamlingen av partiklarna skedde med en flödes hastighet på 10 standard l/min.

I bilaga A.24, A.25, A.26 visas figurer på partikelstorleksfördelningen som skedde under insamlingen av partiklarna. Partiklarna samlades in under flertal dagar och figurerna visar på hur insamlingen av partiklarna såg ut och vilken storleksfördelning det var.

### 3.3 Analys

De insamlade proverna analyserades med hjälp av 3 olika metoder. Den första analysmetoden är ESEM (Quanta 200 FEG) som användes i förstudien för att undersöka om analys på löv är möjligt

med SEM-EDX (Phenom ProX). Vidare analyserades löv- och luftproverna med SEM-EDX, vilket gjorde identifiering och karakterisering möjlig av partiklarna. Resultat och data sammanställdes därefter, och analyserades med multivariat dataanalys.

För samtliga prov klipptes små sektioner med en sax och placerades med pincett på en stiftstubb med hjälp av dubbelhäftande tejp, se bilaga A.3.

### **3.3.1 Förstudie med ESEM**

Förstudien genomfördes med ESEM (Quanta 200 FEG) för att ta reda på om partikelanalys var möjligt på ett biologiskt material, som i detta fall var löv. Under förutsättning att det inte skulle ge något resultat, skulle SEM-EDX (Phenom ProX) kunna uteslutas som ett möjligt analysinstrument för ändamålet. Detta på grund av att ESEM är ett instrument med starkare elektronstråle och bättre optiska förhållanden. De tre insamlade löven analyserades, enskilda punkter på partiklar markerades och undersöktes med EDX för att få en analys av vilka ämnen och metaller som partiklarna bestod av.

### **3.3.2 SEM-EDX**

Analys av löven och de insamlade luftpartiklarna genomfördes med hjälp av SEM-EDX (Phenom ProX). Phenom sattes igång cirka fem minuter innan analysen påbörjades. Provet på stiftstubben blåstes med komprimerad luft för rengöring från damm och lösa partiklar. Stiftstubben placerades i en provhållare och höjden på provet justerades tills den var i nivå med toppen av provhållaren. Provet vreds därefter ned för att få ett arbetsavstånd (fokallängd) på 4.5-5 mm. Sedan placerades provet i SEM för analys. Elektronerna accelererades med hjälp av en spänning på 15 kV. Eftersom bladets partikelinnehåll varierade över olika områden analyserades 2-3 olika punkter på bladet med punktanalys där  $1\mu\text{m}^3$  av provet analyserades för information om atominnehåll.

Samma metod genomfördes vid förberedning av uppsamlingsfilmerna från luftproverna. Vid insamling av partiklar med hjälp av ELPI+ distribueras partiklarna efter dess storlek i 14 olika impaktor-stegen. Av dessa 14 prover analyserades alla jämna steg (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) för att få en mer övergripande bild över vad som funnits i luften. Partiklarna var distribuerade i områden efter hur de filtrerats, därför undersöktes 2 sådana områden för varje steg, för att få en mer korrekt analys av de olika partikelområdena. I varje sådant område analyserades 2-3 slumpmässiga partiklar. Se bilaga A.4 för en beskrivande bild på hur partiklarna valdes. Vid analys av partikelinnehållet användes en begränsning på hur väl topparna i det uppmätta atomspektrat stämde överens med atomernas spektra. Begränsningen i denna studie valdes till 0,92 (92%) överensstämmelse (fit) för luftproverna för att minska risken att fel atomslag identifieras. Överensstämmelsen är ett mått på hur väl det uppmätta atomspektrat stämmer överens med atomslagens specifika atomspektra. Vid analys av luftpartiklar användes två olika uppsamlingsfilmer, en av aluminium och en av polykarbonat, för att undersöka om bakgrund hade någon inverkan på resultatet. Blankprov togs på aluminiumfilm, polykarbonatfilm och på ett löv.

### **3.3.3 Multivariat dataanalys**

De erhållna resultaten från SEM-EDX sammanställdes i excelfiler, som visas i bilaga A.9, A.11, A.13 och A.15. Även en sammanställning över summan av atomkoncentrationerna och dess medelvärde för varje enskilt atomslag gjordes, vilket bifogas i bilaga A.17. De uppmätta atomkoncentrationerna för vardera prov korrigerades utifrån blankprov, samt att C och O nollställdes då SEM har för låg energiupplösning för att tillförlitligt kvantifiera dessa atomer med så lågt atomnummer. Blankprov togs på de två olika typer av uppsamlingsfilmerna (aluminium och polykarbonat) och på löv. Vid korrigeringen utifrån blankprov, C och O, behövdes samtliga värden korrigeras då att resultatet av partikelinnehållet från SEM-EDX ges i atomkoncentration (%). Summan av alla atomslag blir hundra procent, och även efter korrigeringsarna blev den nya summan hundra procent. De korrigerade värdena sammanställdes i excelfiler, se bilaga A.10, A.12, A.14 och A.16. Medelvärden av proverna med korrigerade värden ses i bilaga A.18. Samtliga grafer och multivariat dataanalys i studiens resultat är baserade utifrån dessa korrigerade värden.

## 4. Resultat

SEM-EDX gav topografiska bilder, inre struktur och information om partikelinnehåll. Resultaten från SEM-EDX användes i SIMCA som genererade olika plottar och grafer. I bilderna tagna med SEM framträder partiklar som ljusa områden med tydliga konturer. Den mörkare bakgrunden utgör lövets struktur i lövproverna, och av uppsamlingsfilmer, kol, sot och atomer med låga atomnummer i luftproverna.

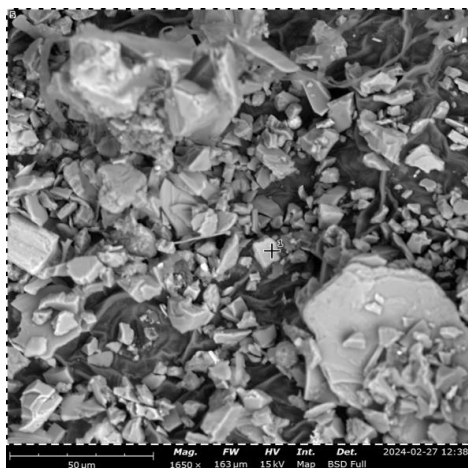
### 4.1 SEM

#### 4.1.1 Förstudie ESEM

Analys av löv med ESEM (Quanta 200 FEG) fungerade och vilka atomslag som fanns i partiklarna på löv kunde bestämmas. Partikelinnehållet på löven kunde identifieras och kvantifieras. Resultaten på partikelinnehållet och dess atomkoncentration kan ses i bilaga A.8. Eftersom goda resultat erhöles från ESEM, kunde vidare analys av löv fortsätta med SEM-EDX (Phenom ProX).

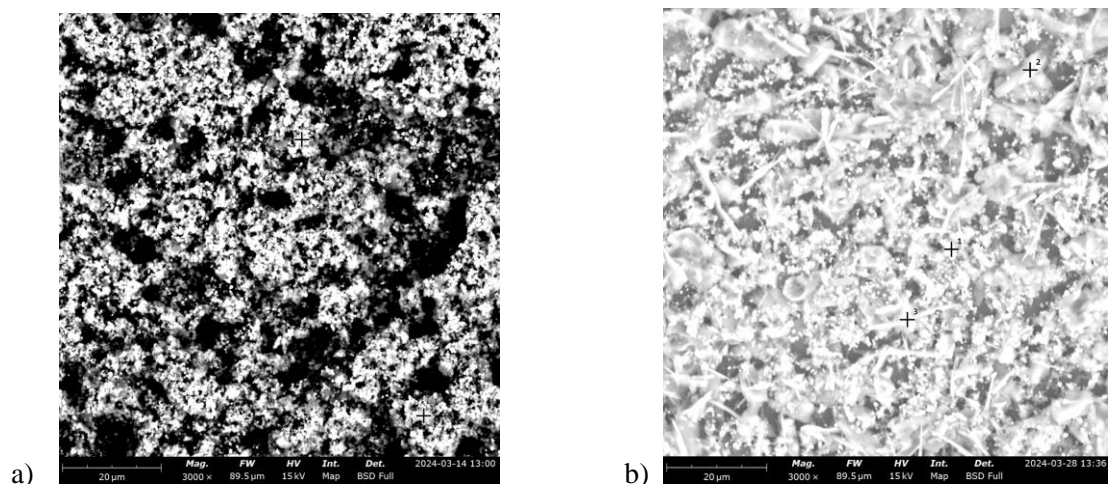
#### 4.1.2 SEM-EDX löv och luftprov

Resultaten från SEM-EDX analys visas nedan, där tre figurer valdes ut som representativa de 121 observationerna som gjordes av luftproverna och lövproverna.



Figur 4. Bild tagen med SEM på lövprov D.

I figur 4 visas en bild tagen med SEM på ett lövprov, där en variation av partiklarnas storlek och slumpmässiga fördelning på lövet observeras. Detta noterades på samtliga bilder på lövproverna. De markerade områdena är partiklarna som valdes ut för analys. I figuren visas lövets yta som den mörkgrå/svarta bakgrunden och de vita/ljusgråa som ligger ovanpå är partiklar. Partiklarnas storlek och utseende varierade på lövet.



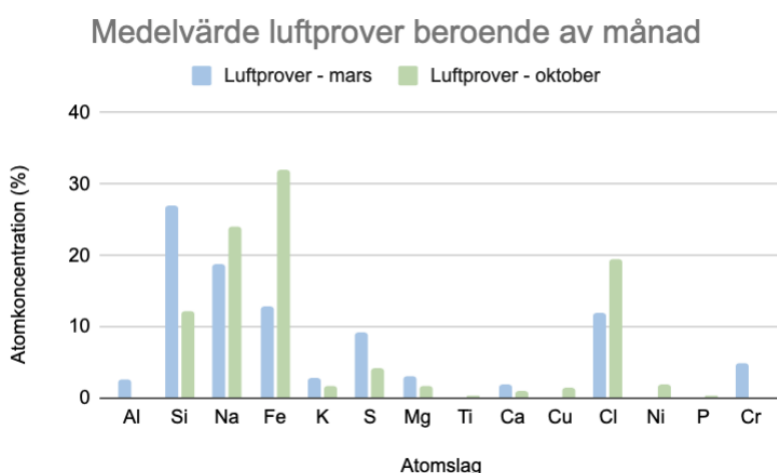
Figur 5. Bilder tagna med SEM på luftprov insamlade med ELPI+. a) visar ett prov från impaktor-steg 8 på aluminiumfilm. b) visar ett prov från impaktor-steg 8 i på polykarbonatfilm.

I figur 5 visas bakgrunden som grå för de uppsamlingsfilter som användes. I figur 5 a) visas en svart bakgrund med vita partiklar. Även i figur 5 visas att partiklarnas storlek och fördelning varierar, särskilt ses detta i figur 5b. Det är noterbart att partiklarna i både a) och b) i figur 5 uppvisar en jämn storlek, vilket är rimligt eftersom partiklarna som samlas in av ELPI+ genomgår en storleksklassificering och varje impaktor-steg består av partiklar av liknande storlek. Materialet i de olika uppsamlingsfilmerna hade ingen påverkan på bildernas upplösning.

## 4.2 Multivariat dataanalys

Insamlade data analyserades med hjälp av multivariat dataanalys. Alla värden som används i denna analys har som ovan nämnt blivit korrigerade med hänsyn till dess blankprov och atomslagen C och O. Bilaga A.5, A.6 och A.7 visar resultaten på de blankprov som togs för de olika proverna. Proverna är namngivna O för observation följt av en siffra, som betecknar vardera analyserat prov.

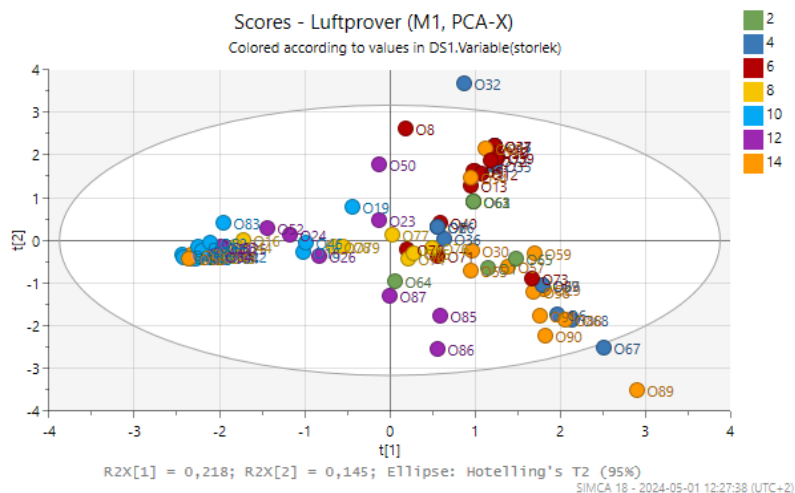
### 4.2.1 Luft partiklarnas innehåll



Figur 6. Atomkoncentrationen (%) för atomslag i luftprov uppmätta i SEM-EDX och insamlade med ELPI+ i mars 2024 respektive oktober 2023. Värden visas i bilaga A.18.

I figur 6 sammanställdes atomslagens innehåll i de olika proverna och medelvärden gjordes för alla atomslagen. Det observeras att atomkoncentrationen (%) är högst av Si, Na, Fe och Cl i fallande ordning för luftproverna tagna i Mars. I figuren observeras att medelvärden för atomslag från prover

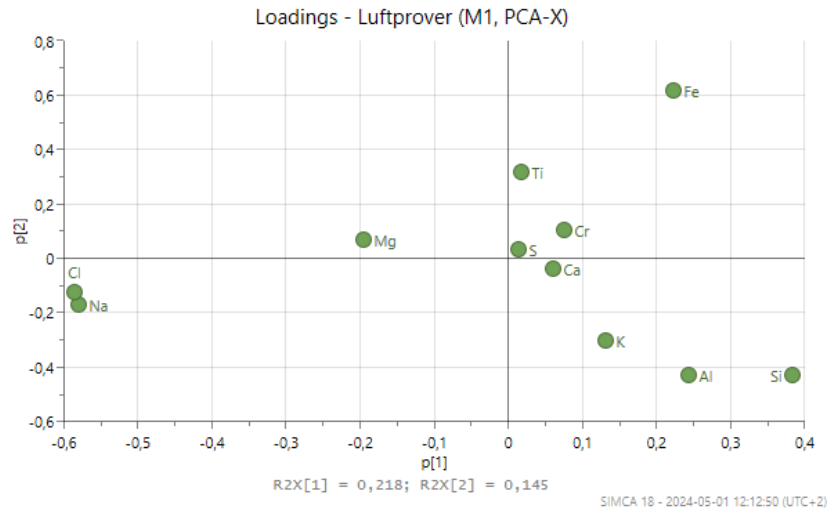
från oktober och mars är relativt lika, men några skillnader observeras. Till exempel finns Al endast i luftprov samlade i mars och inte i oktober. Detta beror på att Al korrigerades och nollställdes för de prov som tagits på aluminiumfilmer, och partiklarna från oktober samlades endast upp på aluminiumfilmer. Al nollställdes på dessa prover eftersom det inte gick att avgöra om det var uppsamlingsfilmen som utgjorde atomkoncentrationen eller om det var partikelinnehållet.



Figur 7. Score-plot som visar på hur partikelinnehållet skiljer sig mellan impaktor-stegen. Där varje färg representerar ett speciellt impaktor-steg.

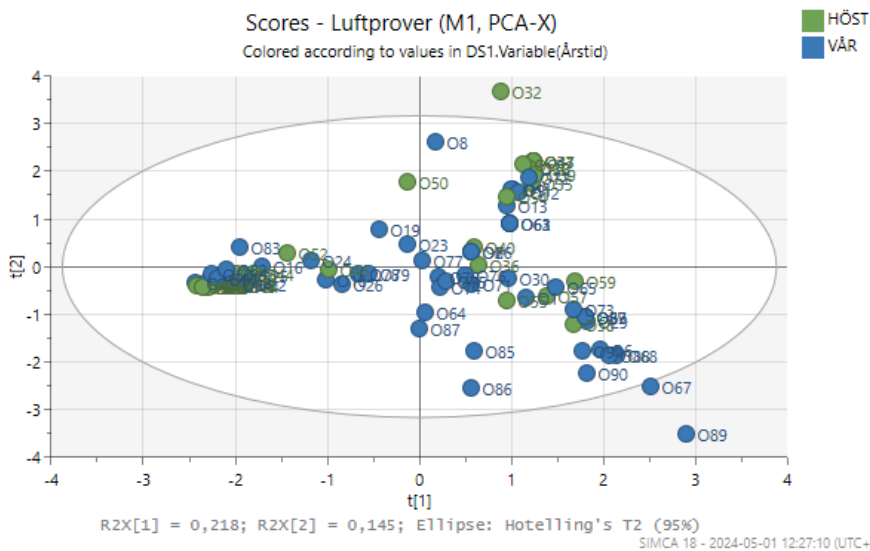
SIMCA användes för att analysera och utvärdera resultaten av partikelinnehållet i vardera prov. För luftproverna analyserades hur storleksfördelningen av impaktor-stegen i ELPI+ påverkade partikelinnehållet, resultatet av detta visas i figur 7. Impaktor-stegen fördelar partiklarna efter storlek och kommer därför visa på varierat innehåll och atomkoncentration. Utifrån resultatet i bilaga A.12 och bilaga A.14 visas att flertal av de observerade proverna innehåller liknande atomslag men att koncentrationen och förekomsten varierar. Ett par prover skiljer sig åt, exempelvis O50, O85, O86 och O87 är alla från impaktor-steg 12 men skiljer sig från varandra. En anledning till att O50 skiljer sig från O85, O86 och O87 är att O50 är taget på aluminiumfolie och har därför ett korrigerat Al värde, vilket ses när man jämför figur 7 med figur 8. O85 och O87 är tagna med polykarbonatfilm och innehåller Al vilket kan vara en faktor till att olika observationer i samma impaktor-steg kan skilja sig. O87 skiljer sig eftersom den innehåller Fe, Mg, Ca vilket inte O85 och O86 har. Det kan även observeras att partiklar från impaktor-steg 10 befinner sig mer åt vänster, vilket tyder på att de innehåller en högre atomkoncentration Na och Cl än övriga prover. Prover från impaktor steg 6 grupperar sig starkt, vilket tyder på att proverna har lika atomkoncentrationer. Övriga prover sprider sig runt om score-ploten, vilket visar på att atomkoncentrationerna varierar för prover från samma impaktor-steg.

Tre olika typer av luftprov från ELPI analyserades, oktober (aluminiumfilm), mars (aluminiumfilm) och mars (polykarbonatfilm). De olika uppsamlingsfilmerna (aluminium/polykarbonat) användes för att se om och hur val av uppsamlingsfilm påverkade resultatet av partikelinnehållet. Bilaga A.19 visar en score-plot som gjordes för att analysera uppsamlingsfilmernas påverkan på luftproverna. Efter att korrigering gjorts för att utesluta uppsamlingsfilmens påverkan på innehållet, noterades ingen större skillnad på partikelinnehållet på de olika uppsamlingsfilmerna. Det noterades däremot en viss mängd Al på proverna med polykarbonatfilmer. De olika filmerna som användes var också under olika årstider då polykarbonat inte användes i oktober. Så att utesluta att dom skiljer sig helt och hållet hade gjorts om luftprover med polykarbonat hade gjorts i oktober.



Figur 8. Loading-plot på hur de olika atomslagen grupperas i luftproverna.

Figur 8 visar en loading-plot som demonstrerar hur atomslagen korrelerar och antikorrelerar med varandra. Om två ämnen korrelerar innebär det att de förekommer i samma prover och på så sätt samverkar. Analysring av resultatet i figur 8 visar att Na och Cl korrelerar eftersom de grupperas sig, samt avsticker från resterande atomslag. Det innebär att i alla prover som innehåller Na kommer troligen även Cl att finnas. Al, Si och K drar sig snett nedåt från mitten, vilket tyder på att de korrelerar till en viss grad. I förhållande till figur 7 drar sig flera av proverna från impaktors-teg 10 till vänster där Na, Cl befinner sig. Tillsammans med resultaten i figur 9 kan de olika atomslagens relation till vilken månad de samlats in få en betydelse.

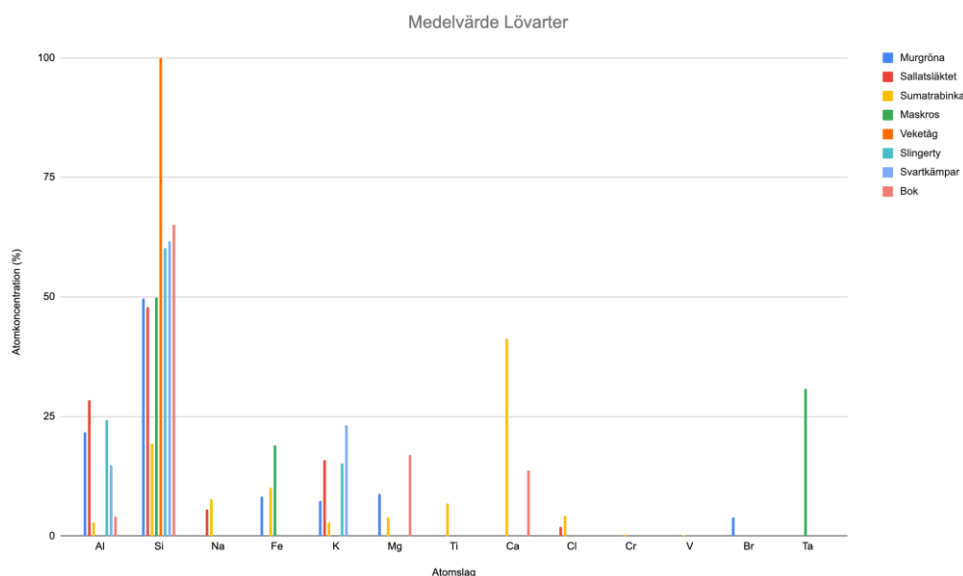


Figur 9. Score-plot på fördelning av luftprover. Färgade beroende av vilken säsong proverna insamlades.

PCA-X modell användes för att analysera luftprovernas förhållande till vilken månad de var insamlade. I figur 9 visas prover från höst i blått och prover från vår i grönt. Med hjälp av score-ploten noteras att de blåa och gröna prickarna är ungefär jämnt fördelade, men att proverna ifrån vår har flera observation i det nedre högra hörnet, vilket K, Al och Si gör i figur 8. Detta tyder på att Al, K, Si förekommer mest i mars månad. Resultatet i figur 8 och figur 9 visar likt i figur 6 att Si, K och Al finns i båda säsongerna, men med en högre atomprocent (%) för luftproverna tagna på våren. Likt finns det mer gröna observationer åt vänster i figur 9 där Na och Cl befinner sig i figur 8. Även

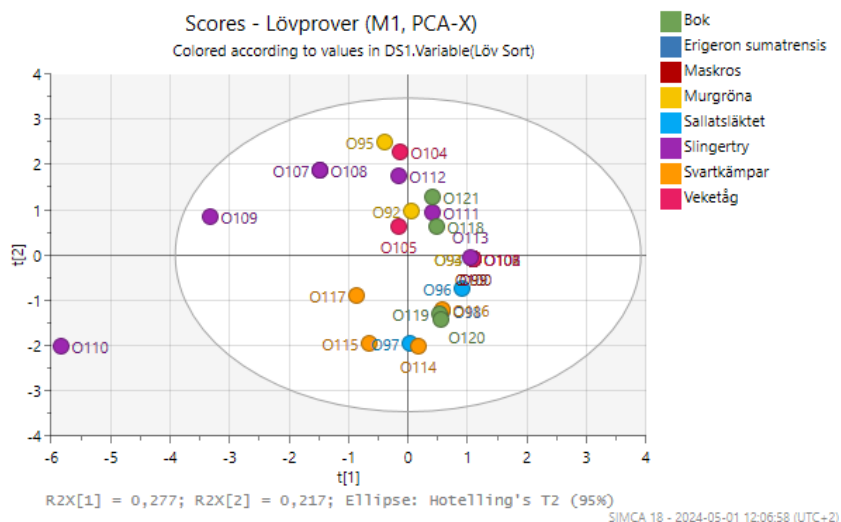
medelvärdet över de olika årstiderna (se figur 6) visar på en högre koncentration av Na och Cl förekommer i luftproverna från hösten.

#### 4.2.2 Löv



Figur 10. Medelvärde av atomkoncentrationen (%) uppmätt med SEM-EDX för de olika atomslagen i de olika lövarterna. Se bilaga A.18 för värden.

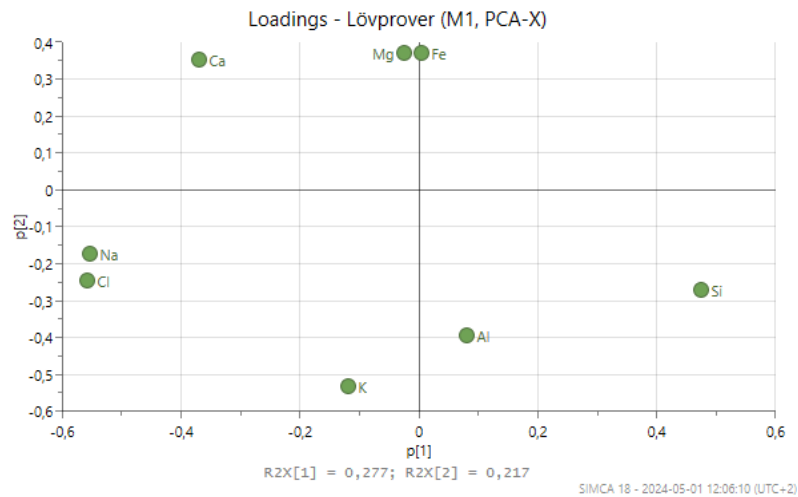
Figur 10 visar samtliga medelvärde av atomkoncentrationen (%) för respektive lövarter som analyserats. Resultatet visar på att partikelinnehållet skiljer sig åt på de olika lövarterna. Det noteras att Si var det atomslag som hade högst medelvärde. Ca fanns i hög koncentration på vissa lövarter och inte alls på andra, vilket visar på att partikelinnehållet skiljer sig åt mycket på de olika lövarterna. De blanka prover som togs på löven bestod av C och därför korrigerades värdena för samtliga lövprover.



Figur 11. Score-plot på fördelning av lövprover. Färgade och numrerade beroende av art och analysområde från vardera art.

Figur 11 visar samtliga undersökta löv sammanställda i en score-plot. Figuren visar distributionen av partiklarnas innehåll över olika löv. I figuren framgår det att Slingerty uppvisade signifikanta

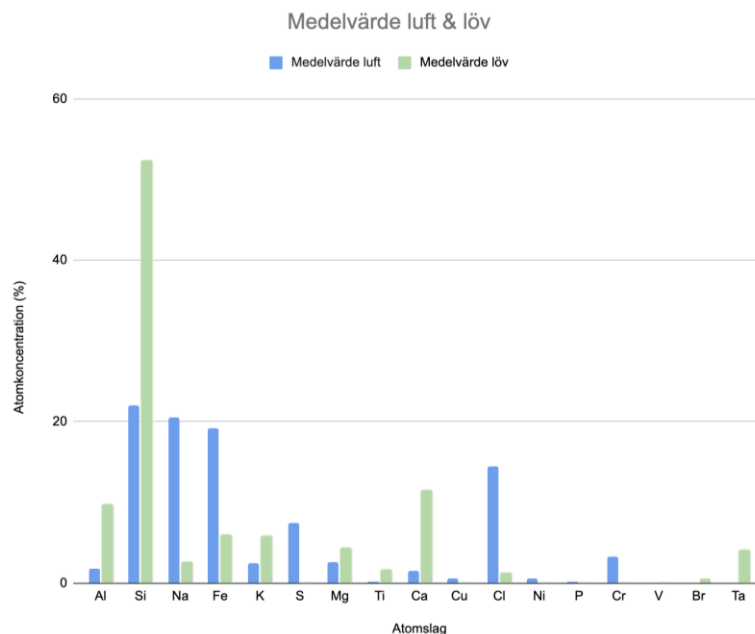
avvikelser från en mer central gruppering av andra undersökta löv. I kontrast till detta uppvisade andra löv andra egenskaper, exempelvis Maskros och Bok, som grupperades enhetligt nära mitten av score-ploten. Detta beteende indikerar på ett konsekvent partikelinnehåll oavsett lövets provtagningsyta.



Figur 12. Loading-plot på hur de olika atomslagen grupperas i lövproverna.

Figur 12 visar att Na, Cl och Ca korrelerar och befinner sig mot vänster i figuren. Genom att jämföra figur 11 och figur 12 grupperar sig Na och Cl mot Slingetry. Medan Svartkämpar befinner sig nedåt mot K. Dessa två löv plockades vid samma avstånd från motorvägen och en höjdskillnad på 2 cm. Då höjdskillnaden är liten, är skillnaden i partikelinnehållet antagligen beroende av lövart och vilken partikel som slumpmässigt valts ut för analys. I jämförelse med luftproverna är det svårare att urskilja specifika skillnader i partikelinnehållet från luft utifrån figur 11 och 12.

#### 4.2.3 Löv vs Luft



Figur 13. Medelvärden av atomkoncentration (%) för atomslag från de olika insamlingsmetoderna luft och löv.

Resultatet som presenteras i figur 13 visar på hur medelvärden av atomkoncentrationer (%) fördelar sig för luft- och lövproverna. Det går tydligt att se hur endast S uppmätts i luftprover medan Ca uppmätts främst i lövproverna. I figuren visas att medelvärdet över de olika atomslagen skiljer sig åt



luftprover med polykatbonatfilm befinner sig i detta hörn. Detta kan visa på att partikelinnehållet från lövproverna samt luftprover tagna med polykarbonat film har liknande partikelinnehåll. De bägge prover är insamlade under våren och partikelinnehållet kan därför ha påverkats av årstid.

Utifrån samtliga prover skapades en OPLS modell för att se huruvida partiklarnas atomslag kategoriseras beroende av material. Utifrån modellen skapades en loading-plot (se bilaga A.21) där det kan observeras hur de olika atomslagen befinner sig i förhållande till uppsamlingsfilm. Bilaga A.22 visar en score-plot av OPLS modellen som visar hur de olika observationerna fördelar sig beroende på partikelinnehållet men benämnda efter dess uppsamlingsfilm. Dessa två figurer visar på att partikelinnehållet varierar med både uppsamlingsfilm och uppsamlingsmetod då observationerna fördelar sig olika.

## 5. Diskussion

Utifrån resultaten som erhållits kunde en skillnad i atomkoncentration av olika atomslag mellan partiklar analyserade på löv och i luftprover observeras. Den varierande trenden gällande atomkoncentrationer observerades även beroende på vilken månad som luftproverna samlades. Vidare diskussion kommer att presentera på vilket sätt dessa skiljer sig åt och möjliga bidragande faktorer som kan vara orsaken till denna skillnad, samt vilka ursprungskällor partiklarnas innehåll kan tänkas ha och hur dessa påverkar human hälsa och miljö.

### 5.1 Utvärdering av analysmetoden SEM-EDX.

Studien syftar till att utvärdera SEM-EDX som metod för att analysera luftpartiklar insamlade av ELPI+ samt partiklar på insamlade löv. SEM-EDX visade sig vara en effektiv metod för både visuell observation och kemisk analys av mikroskopiska prover. Samtidigt kunde EDX användas för att bestämma den kemiska sammansättningen av proven, vilket gav information om partiklarnas innehåll och koncentration.

Under analysprocessen observerades en betydande variation av partiklar i proven och deras slumpmässiga fördelning på ytan, särskilt för löven. Variationen i partiklarnas storlek och fördelning bidrog till en ökad förståelse av provernas egenskaper och samtidigt avgörande för en undersökning av partiklarnas härkomst i luften och på lövens yta samt deras potentiella miljömässiga påverkan.

Analysen som utfördes med SEM-EDX krävde noggrann förberedelse av proverna. För biologiska prover, i detta fall löv, innebar det dehydrering för att möjliggöra analys. Denna process var tidskrävande till skillnad från luftproverna som inte krävde dehydrering och kunde analyseras samma dag och därmed var mer tidseffektiva.

En begränsning som observerades var att SEM-EDX inte kunde ge lika tydlig kemisk analys på partiklar med en diameter mindre än 10  $\mu\text{m}$  på löv, samt att ytan på lövet förstördes av värmen från elektronstrålen vid höga förstoringar. Vid analysering med SEM-EDX på luftproverna insamlade med ELPI+ på aluminiumskivor och polykarbonatskivor uppstod inte detta problem, vilket möjliggjorde för en bättre analys på mindre skalor. Observationerna visade på att SEM-EDX har sina begränsningar när det gäller analys av  $\text{PM}_{2.5}$ - $\text{PM}_{10}$ .

En nackdel med EDX som uppmärksammades var hur atomslagsinnehållet av partiklarna bestämdes. Resultatet på partiklarnas sammansättning visades som ett atomspektrum, där atomslag identifierades utifrån topparna. Nackdelen var att en del av topparna överlappade vilket gjorde det svårt att identifiera vissa toppar, medan andra var lätta att identifiera. För att möjliggöra att alla atomslag identifierades krävdes manuella identifikation, där lämpliga partiklar identifierades via jämförelse av möjliga partiklars atomspektra och utslagen av atomspektra som erhållits under analysen. Detta medförde en möjlig mänsklig felkälla, där tidigare kunskap om vilka atomslag som undersökaren förväntas hitta kan ha påverkat. En till nackdel med SEM-EDX är att mätningen av atomslagen C, O

och N inte är tillförlitliga eftersom SEM-EDX har svårt att mäta dessa på grund av dess låga elektrontäthet.

Ytterligare en nackdel med SEM-EDX är hur bakgrundsmaterialet kan påverka den kemiska analysen. EDX mäter röntgenstrålning från proverna och eftersom lagret av partiklar på löven och luftproverna är såpass tunt och litet i jämförelse med den stora interaktionsvolymen kan elektronstrålarna gå igenom element och ge information om lagret under. Detta kan leda till att bakgrundsmaterialet genererar strålningen som identifieras av EDX istället för partiklarna. Därför korrigerades de analyserade proverna så att bakgrundsmaterialet togs bort.

För att minimera risken för felkällor vid analys med EDX, valdes lämpliga partiklar enbart ut om överensstämmelsen (fit) var 92% eller högre. Trots arbetet som gjordes för att minimera felkällor finns det en övergripande risk att partiklarna kan ha en osäkerhet i sammansättningen på grund av att EDX inte med säkerhet kunde identifiera samtliga partiklar.

## **5.2 Partiklarnas möjliga ursprung**

De atomslag som uppmätts på partiklar i studien har flera potentiella utsläppskällor, exempelvis broms- och vägslitage, förbränning av bränsle och förångning av smörjmedel i avgasutsläpp.

### **5.2.1 Bromsbelägg och bromsskiva**

Vid inbromsning bildar interaktionen mellan bromsbelägg och bromsskiva slitagepartiklar. Element som associeras med bromsslitagepartiklar är Ba, Cu, Cr, Fe, Zn samt Mn. Bromsslitage partiklar har hög chans att förekomma på platser som till exempel Gårda där proverna samlades in precis bredvid E6 där det är mycket trafik och mycket köer kan uppstå. Detta observerades även i resultatet då luftproverna innehöll en hög koncentration av Fe (se figur 6), även en del av luvproverna innehöll Fe (se figur 10). En möjlig orsak till att både luv- och luftproverna innehöll Fe kan vara att renoveringen av Tingstadstunneln inneburit en ökad köbildning då enbart ett öppet körfält funnits under perioderna som proverna hämtats. Det observerades framförallt att luftproverna insamlade i oktober uppmätte en hög atomkoncentration (%) av Fe. Som tidigare nämnt kan koncentrationerna härstamma från bromsslitage, och resultatet tyder således på att det kan ha förekommit mer inbromsning i oktober jämfört med mars, som troligen är orsakat av mer trafik och köbildning. Detta kan kopplas till en skillnad i mänskligt beteende under denna period, eftersom vädret är kallare i oktober än i mars kan detta föreligga till att fler väljer att åka bil jämfört med andra transportmetoder. Även Cr förekom (se figur 6), men i betydligt mindre koncentration än Fe.

### **5.2.2 Vägslitage**

Atomslagen i partiklarna kan även härstamma från vägslitage. När fordonsdäck rör sig över vägytan uppstår slitage på både däck och vägyta som en konsekvens av interaktionen. Vägslitagepartiklar domineras av stenmineral, eftersom det mesta av slitagedammet kommer från lokala jordskorpan är det utmanande att definiera specifika element. Studien visade på spårbara element såsom Si, Al, Ca, K, Fe och Ti (38). Under oktober till april får även dubbdäck användas (39), vilket kan ha påverkat resultatet då samtliga prover är insamlade under denna period. Dubbdäckens slitage frigör små partiklar från vägarnas ytor till luften och vägslitage från användandet av dubbdäck representerar en stor andel av partiklarna i väg- och gatumiljöer (7). Användningen av dubbdäck visar på en högre koncentration av vägslitage och ökad mängd luftpartiklar i luften (40).

Resultatet som erhöles visade på en hög koncentration Si oberoende månad och typ av insamlingsmetod, se figur 6. I resultatet kunde även andra observationer göras, som till exempel att Si korrelerar med K, Al och ibland Fe samt Ca, vilket visas i figur 8, figur 12 och figur 15. Korrelationen av atomslagen som observerades tyder på att resultatet kan relatera till partiklar med ursprung från vägslitage. Det framgick även en skillnad i atomkoncentrationer beroende på vilken månad som proverna tagits. Proverna från mars innehöll en högre koncentration av Al, Si samt K, se figur 6. En möjlig förklaring är att luftproverna togs i början av oktober, innan majoriteten av bilägare hunnit

byta till dubbdäck. Det är troligare att fler bilägare fortfarande använder dubbdäck i mars. Vilket kan vara en bidragande källa till varför koncentrationen av atomslag som kan komma från vägsitage hade varit större.

### 5.2.3 Blandade källor

Zn, Fe och Mn kan härstamma från varierande ursprungskällor när det kommer till utsläpp. Potentiella källor är inte enbart bromsslitage från fordon, utan även mineraliskt damm och industriella utsläpp (38). Resultatet påvisade att löv och luftproverna innehöll Fe (se figur 13), vilket tyder på att dessa kan komma från mineraliskt damm samt industriella utsläpp.

Al och Si kan förekomma i fältspat vilket är en mineral, med den kemiska formeln  $KAlSi_3O_8$ ,  $NaAlSi_3O_8$  eller  $CaAl_2Si_2O_8$ . Fältspat är den vanligaste mineralen, ungefär 60% av exponerade bergarter, och kan även förekomma i lera och jord (41). Enligt figur 8 och figur 15 korrelerar ofta Al, Si och K, vilket kan bero på att fältspat finns i området runt Gårda och har därför bidragit till att dessa atomslag förekommer tillsammans. Fältspat kan också vara anledningen till att Ca har förekommit i de prover som studien studerar.

### 5.2.4 Vägsalt

Vägsalt är ytterligare en möjlig ursprungskälla till partiklarnas innehåll då vägsalt används i stor omfattning i trafikmiljöer (10). De vägsalt som används i Sverige består till största del av natriumklorid ( $NaCl$ ) och placeras på vägar oftast då temperaturen går under  $0^{\circ}C$  (10). Figur 6 och figur 9 visar på liten skillnad mellan luftprover i mars och oktober, dessutom observerades en högre koncentration Na och Cl på proverna från oktober månad. Detta motsätter sig faktan om vägsalter då koncentrationen borde vara högre i mars eftersom att vägsalt används mer frekvent under vinterhalvåret på grund av den låga temperaturen och risken för halka. Detta tyder på att det kan finnas andra ursprungskällor av Na och Cl än vägsalt. Atomkoncentrationen (%) visas även i figur 13 vara mycket högre i luftproverna än på lövproverna.

### 5.2.5 Fuktighet

Kortvarig exponering av PM i luften har visat sig ha påtagliga negativa effekter. Vid undersökning av hälsoeffekterna är det viktigt att ta i beaktning att mängden PM i luften varierar under årstiderna. Utsläppen sker kontinuerligt, men påverkas av meteorologiska förhållanden och mänskliga aktiviteter, vilket visar på betydande säsongsvariationer av föroreningarna i luften. Det har visat sig att mängden utsläpp är starkt beroende av ytfuktigheten. Tilläggsvis är ytfuktigheten en parameter som varierar med årstiden vilket har stor inverkan på partikelhalterna. Även yttre faktorer såsom nederbörd, snöfall och vindhastighet påverkar halterna av PM i luften (42).

### 5.2.6 Säsongsvariationer

Atomkoncentrationerna för olika atomslag varierar beroende på vilken månad provtagningen skedde (se figur 6). Si, Fe, Cl, Cr och Na varierade starkt mellan mars och oktober. Som ovan nämnt förmodas Na och Cl varierade vara kopplat till vägsalt. Koncentrationen av Si, Al och K förekom mest under mars månad, se figur 6. Variationen av mängden Si, Al och K kan istället vara korrelerade till användandet av dubbdäck eller fältspat. Dessa resultat styrker hypotesen kring årstidernas påverkan på partikelinnehållet och dess atomkoncentration (%). Studiens resultat visade generellt en liten skillnad i sammansättning på partiklar mellan luftprover från mars och oktober, se figur 13. Atomslag som enbart påträffades i proverna från mars var Cr och Al, till skillnad från detta upptäcktes enbart Ni på proverna från oktober. Men en större skillnad i atomkoncentration (%) mellan luft och lövprover.

## 5.3 Partiklars påverkan på miljö

Mängden partiklar i luften varierar över tid. Detta medför en utmaning för att förutsäga dess långsiktiga påverkan på ekosystemen. Partiklar har potentialen att sväva i luften, deponeras på

biologiska ytor samt spridas i marker och vatten. Faktorer som påverkar effekterna av partiklar på biologiska ytor är partiklarnas surhetsgrad, salthalt, ytaktiva egenskaper samt koncentrationen av metaller. Det existerar dessutom en tydlig korrelation mellan partikeldiameter och hastigheten med vilken partiklar deponeras på ytor, hög partikeldiameter resulterar i en hög avsättningshastighet på ytor (43).

Partiklar som deponeras i marken påverkar näringsämnenas kretslopp, där kvävet kretslopp är särskilt utsatt. Näringsämnenas kretslopp är nödvändiga för växternas tillväxt, en potentiell konsekvens av förändringarna är urlakning (43). Sura och alkaliska beläggningar på lövets yta kan orsaka skador och påverka växters förmåga att utföra fotosyntes. Al har en hög risk att ackumuleras i rötternas vävnad, vilket i sin tur minskar upptaget av Ca som har en viktig roll i cellernas membran och därmed ökar trädens risker för att utsättas för sjukdomar och hämmar tillväxt (43). Både Al och Ca förekom i studiens resultat och kan noteras i figur 13, där bägge atomslagen hade en högre atomkoncentration (%) i lövproverna. Resultatet att Al och Ca är högre i lövproverna tyder att dessa två ämnen förekommer, och kan därmed påverka växterna negativt i detta område. Figur 8 visar även på att Al och Ca inte korrelerar, vilket tyder på att de inte samverkar.

Deposition av både S och N är en bidragande faktor till markförsurning (43). Detta innebär en minskning av markens pH-värde. Det minskar även mängden baskatjoner, positivt laddade metalljoner, som skapar en basisk reaktion i vatten (44). Många växter och marklevande djur är anpassade till en viss surhet i marken och markförsurning kan därför innebära att artrikedomen minskar, vilket hotar ekosystemen (45). SEM-EDX kan inte mäta N på grund av dess låga elektronkonfiguration, och är därmed inte analyserat i studien. Förekomsten och atomkoncentration av N kan därför inte diskuteras vidare. Däremot kunde S mätas och förekom i ett flertal luftprover (se figur 13).

## 5.4 Partikelinnehåll och hälsa

Det finns inte ett enda atomslag i PM som skulle kunna vara så skadligt att det ensamt skulle kunna orsaka alla sjukdomar forskning påvisat att PM är kopplade till. Det är framförallt exponeringen för många olika typer av mer eller mindre toxiska eller irriterande ämnen i partiklar som tillsammans orsakar de stora hälsoriskerna. De vanligaste oorganiska ämnena i  $PM_{2,5}$  är Al, Mg, Ca, Ti, Hg, Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Be, As, Co, Fe, Mn, Mo, Se, Tl, Br, Cr, V, Ni, där många av dessa kan bekräftas av resultaten av denna studie (46).

### 5.4.1 Tungmetaller

Tungmetaller utgör den största delen av metallerna som finns i  $PM_{2,5}$ . Detta beror på att tungmetaller ackumuleras i partiklarna och kan totalt utgöra 1,28-5,74% av massan (46). Tungmetaller såsom Ni, Cr, Cd, Pb, Cu, As, Zn, har studerats mycket på grund av deras oförmåga att brytas ner, bioackumulering, toxicitet och hälsorisker. Forskning visar att tungmetallerna kan skada både cellmembran och DNA, samt störa olika enzymaktiviteter vilket påverkar många olika processer i kroppen (47). As, Cd, Cr och Pb har dessutom klassats som carcinogena (48). Pb och Mn har även visat sig ha hematologiska och neurologiska effekter hos barn, och Cu och Zn har visat sig ha kardiovaskulär påverkan genom att sänka hjärtfrekvensen (39). Analysen som gjordes i studien visar på innehåll av Ni, Cr, Cu men i små mängder. Cr förekom i 4 prover av 121, Ni fanns i 1 prov av 121 och slutligen fanns det Cu i 2 prover. Detta visar på att tungmetaller kan finnas i vår omgivning, men i mindre koncentration, enligt resultatet i figur 13.

### 5.4.2 Övriga metaller

Metaller såsom Fe, Al, Pb, Mg, Zn, Ba, Cu, Sr, och Mn förekommer ofta som vattenlösliga joner i luftburna partiklar och har visat sig vara mer förekommande i små partiklar ( $PM_{2,5}$ ) än stora ( $PM_{10}$ ). Dessa vattenlösliga joner påverkar hälsan genom att inducera inflammatoriska, oxidativa och cytotoxiska processer i cellerna och att de små partiklarna, som alltså innehåller större andel lösliga joner, ger upphov till mer ROS och cytotoxicitet än stora partiklar (49). Vattenlösliga joner bland

annat  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$  kan leda till utveckling av stroke och andra kardiovaskulära sjukdomar (50). Även V har kopplats till skador på det centrala nervsystemet, framför allt på blod-hjärnbarriären som skyddar hjärnan (51).

Många av dessa lösliga metalljoner observerades i proverna som gjordes i denna studie (se figur 13). Koncentrationerna av dessa joner varierade men de observeras i många av proverna och förekommer regelbundet i alla prover. Fe, Cl och Na var de atomslag med högst atomkoncentration på observationerna.

### 5.4.3 Kisel

Si är en metalloid och kan inte brytas ned i kroppen vilket leder till ackumulering vid regelbunden exponering. Si i olika former hittas i bergarter, jordtyper och sand och lera. Regelbunden inandning av Si har länge varit känt att ge silikos; stendammslunga, vilket är en sjukdom då lungan sakta fibrotiseras och tappar sin funktion. Att Si var så förekommande i partikelanalysen är inte förvånande då olika typer av damm idag är ett stort globalt problem (52). Stendammslunga är en sjukdom som uppstår vid stor och upprepad exponering, och vilka effekterna av Si och damm har i lägre nivå är omdiskuterat, där viss forskning visar på ökad risk för död i kardiovaskulära sjukdomar och lungsjukdomar medan annan forskning inte gör det (46).

Si var atomslaget som hade högst koncentration i alla prover som togs, oberoende av insamlingsmetod. Nämnt ovan kan Si inte brytas ned i kroppen och kan leda till ökad risk för kardiovaskulära sjukdomar och lungsjukdomar. Studiens resultat i figur 13 visar på den höga förekomsten av Si. Därför behövs åtgärder mot Si tas och även försök att hitta nya substitutioner för ämnet. Ett möjligt ursprung för Si är vägslitage och förändring på detta innebär att lägga om alla bilvägar i nytt material.

## 5.5 Felkällor

### 5.5.1 Säsongsvariation mellan löv och luftpartikelinsamling

Löven samlades in i februari och luftproverna i oktober respektive mars. Skillnader i väder och årstid kan ha påverkat både mängd och typ av partiklar som funnits i luften och deponerats på löven (53). För en mer korrekt jämförelse mellan lövprover och luftprover med ELPI+ hade insamlingen behövt ske samtidigt för ett optimalt resultat. Den multivariata dataanalysen med SIMCA visar däremot ingen större skillnad på när luftproverna samlades in. Majoriteten av atomslagen återfinns i alla prover oavsett insamlingsmånad, men deras atomkoncentration (%) varierar. Däremot syns en större skillnad kring innehållet i löv och luftinsamlade partiklar, men det har ingen påverkan av när proverna samlades in.

### 5.5.2 Händelse av betydelse för luftkvalitén

En viktig faktor att ha i åtanke är att Oceana brann ned den 12 februari 2024 (54). Branden som uppstod spred ett stort rökmoln över Göteborg. Partiklar från denna händelse kan ha legat kvar då lövproverna samlades in. Lövproverna samlades in 20 februari, ungefär en vecka efter denna händelse. Därför finns en sannolikhet att partiklarna skulle lägga sig på lövens yta och påverka resultatet. Det kan även finnas risk att detta påverkade partikelinnehållet i luftproverna som samlades in i mars. Däremot visar resultaten att partikelinnehållet i luftproverna från oktober och mars inte skiljer sig åt något märkvärdigt, vilket kan innebära att branden inte hade en större inverkan på resultatet.

### 5.5.3 Kontamination vid hantering

En felkälla som uppstod vid flera tillfällen, men vars effekt är svår att avgöra, är kontamination av proverna. Proverna samlades in i plastboxar som sedan fraktades till labbet från Gårda. Under denna resa skakades proverna runt något i sina lådor vilket sannolikt kan ha påverkat partiklarna på dem. För

att minimera risken för kontamination användes handskar vid hantering av proverna och SEM-EDX utrustning. Proverna blåstes även med luft för att få bort eventuellt externt löst damm.

#### 5.5.4 Typ av uppsamlingsfilm

De första luftproverna som analyserades (prover från oktober) samlades endast upp i aluminiumfilmer där en viss del Al observerades. Atomkoncentrationerna varierade mellan 0 till 70,56 procent (se bilaga A.11). Detta väckte frågan huruvida Al fanns i partiklarna eller om det var uppsamlingsfilmen som påverkade resultatet av den kemiska analysen. Luftprover tagna i mars togs därför på två olika uppsamlingsfilmer, aluminiumfilmer och polykarbonatfilmer. Studiens resultat visar att partiklarna från luftproverna som samlades in på polykarbonatfilmer innehöll också aluminium, vilket tyder på att aluminium förekommer i luftpartiklarna. Vid analys av luftproverna insamlade på aluminiumfilmer observerades även en märkbar mängd aluminium i vissa av dessa prover. Eftersom aluminiumfilmen består av aluminium är det svårt att särskilja den uppmätta datan från partikeln och filmen. För att hantera detta utfördes korrigeringar av atomkoncentrationerna (%) med hjälp av blankprov av filmmaterialen, vilket innebär att aluminiumkoncentrationen nollställdes för dessa luftprover. Detta presenterar en potentiell felkälla eftersom det finns en hög sannolikhet att en del av den uppmätta aluminiumkoncentrationen faktiskt kommer från partiklarna, inte bara från uppsamlingsfilmen. Det medförde även att mängden Al från luftproverna från oktober inte kunde mätas. För att hantera detta analyserades luftprover med polykarbonatfilmer och aluminiumfilmer från samma tidpunkt (mars). Genom att sammanställa resultaten av partikelinnehållet noterades förekomsten av uppsamlingsfilmen i resultatet och även Al detekterades i luftproven med polykarbonatfilm från mars. Däremot gick det inte att jämföra mängden Al mellan mars och oktober (se figur 6). För att säkerställa en mer noggrann analys korregerades atomkoncentrationerna (%) genom att helt eliminera C från luftproverna (med polykarbonat som uppsamlingsfilm) och löven samt helt eliminera Al från luftproverna med aluminiumfilm.

De olika atomslagen som förekom hade ingen inverkan i vilken typ av bakgrund som användes för luftproverna. Det som påverkade resultatet var att Al drogs mot de prover med polykarbonatfilm samt löv eftersom de uteslöts helt från de andra luftproverna, vilket ses i bilaga A.19 då Al befinner sig mellan löv och polykarbonat film men inte mot luftproverna med aluminiumfilm.

#### 5.5.5 Typ av löv

Som tidigare nämnts visar tidigare studier på att olika lövarter ansamlar partiklar olika mycket beroende på lövets egenskaper, såsom struktur och "hårighet". Vårt resultat visar att partikelinnehållet skiljer sig åt på de olika lövarter (se figur 10). Detta är i enlighet med tidigare forskning som presenteras i avsnittet "Partiklar på ytor". Å andra sidan kan inte slutsatsen dras om att det är lövarten som orsakar skillnaden i atomkoncentration (%) för olika atomslag, eller om det är att de olika partiklarna på löv har olika partikelinnehåll. I denna studie undersöktes ett fåtal (1-3) partiklar på vardera prov, och dessa partiklars innehåll samkorrelerar inte för samtliga prov för de olika lövarter. Detta kan observeras i score-plot över hur de olika proverna korrelerar (se figur 11). Vid jämförelse av atomkoncentration (%) av atomslag mellan luft och löv partikelprover används medelvärden över samtliga löv. Detta medelvärde påverkas således av vilka lövarter som analyserats i studien och de partiklar som slumpmässigt valts ut att analyseras med SEM-EDX. Detta är en felkälla som möjligtvis påverkat resultatet, och haft en inverkan på diskussion kring jämförelse av partikelinnehållet på löv och luft. För framtida studier rekommenderas att fler lövarter används, och flera partiklar analyseras med SEM-EDX.

#### 5.5.6 Datahantering

När proverna analyserades i Multivariat dataanalys applicerade två olika modeller, PCA och OPLS, för att se samband mellan de olika proverna och insamlingskällorna. När dessa metoder görs appliceras ett  $R_2$  värde för att visa hur bra en modell stämmer på de specifika atomslagen. Modellerna ger högre  $R_2$  värden för de atomslag som förekom i flera prover och sämre för de atomslag som endast

observerades på ett fåtal ställen. Denna skillnad är viktig att ha i åtanke vid analysering av proverna eftersom låga  $R_2$  värden visar på dålig modell.

## **5.6 Framtida studier**

### **5.6.1 Påverkan av nya system på luftkvalité och lövdeposition**

Som tidigare diskuterats är Gårda en del av Göteborg där partikelkoncentrationen i luften är hög, framför allt orsakat av mycket trafik. Ett sätt att förbättra luftkvalitén är att minska trafiken och köbildning. Ett projekt som inlett av Trafikverket är att utveckla ett förbättrat trafiksystem. Målet är att minska trafikstörningar, köbildningar och olyckor med hjälp av åtgärder för intelligenta transportsystem (ITS), som använder modern teknologi för att kommunicera och styra trafik effektivare. Målet med detta är att bidra till ökad framkomlighet på E6:an förbi Gårda (55). Detta skulle således antagligen minska köbildning och bromsningar, vilket skulle innebära minskade avgaser, vägslitage och gummi slitage från däck som leder till partiklar i luften. Resultatet av vår studie visar, som tidigare diskuterats, att en stor andel av de undersökta partiklarna kan kopplas till dessa partikelkällor. Möjlig framtida studier är att undersöka partikelinnehållet efter att det nya trafiksystemet implementeras, och se om partikelinnehållet förändrats.

### **5.6.2 Introduktion av andra vägtillsatser**

En ytterligare aspekt som skulle kunna studeras vidare kan vara att undersöka möjligheten att ersätta vissa vanligt förekommande atomslag i produkter och material som används. Studien har identifierat en förekomst av Fe, Al och Si i de undersökta proverna, i samband med detta har studien även observerat negativa effekter på mänsklig hälsa. Vidare forskning kan ge insikter huruvida nya, mindre skadliga alternativ skall kunna tillämpas i våra trafikmiljöer. På så vis kan forskning bedrivas för att minska de negativa effekterna på ekosystem och human hälsa, som orsakas av höga halter av skadliga ämnen.

### **5.6.3 Val av område**

Fortsatt framtida forskning för att bygga vidare på denna studie är att undersöka hur partikelinnehållet skiljer sig från ett trafikerat område som Gårda med ett mindre utsatt område för att undersöka hur de varierar. Framtida studier hade kunnat utesluta och stärka argumenten om partiklarnas ursprung.

### **5.6.4 Säsong**

Resultatet i studien visar en skillnad mellan proverna tagna i oktober och mars, och därför hade en framtida studie behövt analysera ett flertal olika månader. Eftersom innehållet varierade mellan två månader hade en mer övergriplig blick getts om prover från både löv och luft hade analyserats under flera månader. I denna studie analyserades endast löv från februari vilket inte ger en övergriplig och pålitlig bild över partiklars innehåll på löv. För en mer tillförlitlig analys krävs flera provtagningar av löv respektive luft, under flera olika månader. Detta hade även visat hur olika årstider och väderförhållande, som exempelvis snö och regn, påverkar partikelinnehållet.

### **5.6.5 Annan kompletterande analysteknik**

En intressant framtida studie hade varit att analysera partikelinnehållet som absorberas av växter och mark, och utifrån detta vidare utvärdera hur luftföroreningar kan påverka miljön. För att möjliggöra detta behövs däremot en ny teknik. En ytterligare intressant analys hade varit att odla celler för att sedan exponera dem för de koncentrationer av partiklar som finns i omgivningen runt Gårda, för att kunna analysera de cellulära effekterna mer specifikt.

## 6. Slutsats

Sammanfattningsvis har studien utvärderat SEM-EDX som analysmetod för att studera partikelinnehåll på biologiska ytor, specifikt löv, men även luftpartiklar insamlade av ELPI. Resultaten som erhöles under studien visade på att SEM-EDX var en framgångsrik metod för karakterisering av partiklar på ytor. Vidare visade multivariat dataanalys sig vara ett effektivt verktyg för kategorisering och sammanställning av undersökt data i tabeller och grafer. Partikelinnehållets ursprung och faktorer har diskuterats utefter vad som observerades under den kemiska och statistiska analysen.

Det mest förekommande ämnena i partiklarnas deposition visade sig vara salt och fältspat, men även andra ämnen såsom tungmetaller hittades. Broms- och vägslitage, förbränning av bränsle och förångning av smörjmedel i avgasutsläpp är möjliga ursprungskällor liksom vägsalt. Flera av de funna ämnena i partiklarna kan kopplas till flera hälsorisker i flera organsystem i kroppen, framförallt tungmetaller och kisel. Tilläggsvis kan även miljön påverkas av de ämnen som hittades i partiklarna genom tillväxthämning och minskad fotosyntes samt urlakning av marken.

## Källförteckning

1. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, m.fl. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*. 13 maj 2017;389(10082):1907–18.
2. National Institute of Environmental Health Sciences [Internet]. [citerad 30 januari 2024]. Air Pollution and Your Health. Tillgänglig vid: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/air-pollution>
3. Zhang X, Han L, Wei H, Tan X, Zhou W, Li W, m.fl. Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development. *Journal of Cleaner Production*. 20 april 2022;346:130988.
4. Statistikmyndigheten SCB [Internet]. [citerad 03 maj 2024]. Tredubbling av elbilar på två år. Tillgänglig vid: <https://www.scb.se/hitta-statistik/redaktionellt/tredubbling-av-elbilar-pa-tva-ar2/>
5. Elcenter [Internet]. [citerad 03 maj 2024]. Hur miljövänliga är egentligen elbilar jämfört med bensinbilar och dieselbilar. Tillgänglig vid: <https://www.elcenterab.se/guider/hur-miljovanliga-ar-egentligen-elbilar-jamfort-med-diesel-och-bensinbilar>
6. Long-range transport reduces air quality | HSY [Internet]. [citerad 06 februari 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.hsy.fi/en/air-quality-and-climate/long-range-transport-reduces-air-quality/>
7. Sabelström H, Boberg P, Engholm H, Genberg Safont J, Larsson H, Latvala S. Om luftmiljö och svensk luftövervakning 2023. Naturvårdsverket.
8. Naturvårdsverket [Internet]. 2023 [citerad 30 januari 2024]. Partiklar (PM<sub>2,5</sub>), utsläpp till luft. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/luft/utslapp/partiklar-pm25-utslapp-till-luft/>
9. Ren regionluft - Program för samordnad kontroll 2024-2028 [Internet]. Luftvårdsförbundet i Göteborgsregionen; Tillgänglig vid: <https://lvfgoteborgsregionen.se/download/18.462ab74e188bd9ef5f022353/1688375988510/Program%20f%C3%B6r%20samordnad%20kontroll%202024-2028.pdf>
10. admin. Fakta om användningen av vägsalt [Internet]. EcoConcept. 2021 [citerad 23 april 2024]. Tillgänglig vid: <https://ecoconcept.se/nyheter/fakta-om-anvandningen-av-vagsalt/>
11. Who is Most Affected by Outdoor Air Pollution? | American Lung Association [Internet]. [citerad 30 januari 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.lung.org/clean-air/outdoors/who-is-at-risk>
12. Li W, Lin G, Xiao Z, Zhang Y, Li B, Zhou Y, m.fl. A review of respirable fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>)-induced brain damage. *Front Mol Neurosci*. 2022;15:967174.
13. Puri P, Nandar SK, Kathuria S, Ramesh V. Effects of air pollution on the skin: A review. *IJDVL*. 01 juli 2017;83:415.
14. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, m.fl. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 01 juni 2010;121(21):2331–78.
15. Antioxidanter [Internet]. [citerad 07 maj 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/naringsamne/vitaminer-och-antioxidanter/antioxidanter>
16. Reuter S, Gupta SC, Chaturvedi MM, Aggarwal BB. Oxidative stress, inflammation, and cancer: How are they linked? *Free Radic Biol Med*. 01 december 2010;49(11):1603–16.
17. Teleanu DM, Niculescu AG, Lungu II, Radu CI, Vladăcenco O, Roza E, m.fl. An Overview of Oxidative Stress, Neuroinflammation, and Neurodegenerative Diseases. *Int J Mol Sci*. 25 maj 2022;23(11):5938.
18. Arias-Pérez RD, Taborda NA, Gómez DM, Narvaez JF, Porras J, Hernandez JC. Inflammatory effects of particulate matter air pollution. *Environ Sci Pollut Res*. 01 december 2020;27(34):42390–404.
19. Valavanidis A, Vlachogianni T, Fiotakis K, Loridas S. Pulmonary oxidative stress, inflammation and cancer: respirable particulate matter, fibrous dusts and ozone as major causes of lung carcinogenesis through reactive oxygen species mechanisms. *Int J Environ Res Public Health*. 27 augusti 2013;10(9):3886–907.

20. Schneider M, Stracke F, Hansen S, Schaefer UF. Nanoparticles and their interactions with the dermal barrier. *Dermatoendocrinol.* 2009;1(4):197–206.
21. dispersion - Uppslagsverk - NE.se [Internet]. [citerad 06 februari 2024]. Tillgänglig vid: [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/dispersion-\(kemiteknik\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/dispersion-(kemiteknik))
22. Ha N, Seo E, Kim S, Lee SJ. Adsorption of nanoparticles suspended in a drop on a leaf surface of *Perilla frutescens* and their infiltration through stomatal pathway. *Sci Rep.* 02 juni 2021;11(1):11556.
23. Zhang W, Zhang Z, Meng H, Zhang T. How Does Leaf Surface Micromorphology of Different Trees Impact Their Ability to Capture Particulate Matter? *Forests.* november 2018;9(11):681.
24. Koch K, Wuyts K, Denys S, Samson R. The influence of plant species, leaf morphology, height and season on PM capture efficiency in living wall systems. *Science of The Total Environment.* 20 december 2023;905:167808.
25. Excellence in Particle Measurements [Internet]. Dekati; 2023. Tillgänglig vid: [https://dekati.com/wp-content/uploads/dekati\\_elpi\\_brochure\\_2023.pdf](https://dekati.com/wp-content/uploads/dekati_elpi_brochure_2023.pdf)
26. Keskinen J, Pietarinen K, Lehtimäki M. Electrical low pressure impactor. *Journal of Aerosol Science.* 01 juni 1992;23(4):353–60.
27. Järvinen A, Aitoma M, Rostedt A, Keskinen J, Yli-Ojanperä J. Calibration of the new electrical low pressure impactor (ELPI+). *Journal of Aerosol Science.* 01 mars 2014;69:150–9.
28. ELPI+ Electrical Low Pressure Impactor. Dekati;
29. Acharya A. Development and application of SEM/EDS in biological, biomedical & nanotechnological research [Internet]. arXiv; 2023 [citerad 30 januari 2024]. Tillgänglig vid: <http://arxiv.org/abs/2311.00667>
30. Vernon-Parry KD. Scanning electron microscopy: an introduction. *III-Vs Review.* 01 juli 2000;13(4):40–4.
31. Goldstein JI, Newbury DE, Michael JR, Ritchie NWM, Scott JHJ, Joy DC. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis.* Springer; 2017. 16–20 s.
32. Burnstock A, Jones C. Scanning electron microscopy techniques for imaging materials from paintings. I: Creagh DC, Bradley DA, redaktörer. *Radiation in Art and Archeometry* [Internet]. Amsterdam: Elsevier Science B.V.; 2000 [citerad 07 maj 2024]. s. 202–31. Tillgänglig vid: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444504876500560>
33. Scanning Electron Microscopy | Nanoscience Instruments [Internet]. [citerad 30 januari 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.nanoscience.com/techniques/scanning-electron-microscopy/>
34. Abed SE, Ibsouda SK, Latrache H, Hamadi F, Abed SE, Ibsouda SK, m.fl. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Environmental SEM: Suitable Tools for Study of Adhesion Stage and Biofilm Formation. I: *Scanning Electron Microscopy* [Internet]. IntechOpen; 2012 [citerad 30 januari 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.intechopen.com/chapters/30960>
35. Philips Electron Optics. *Environmental Scanning Electron Microscopy: An Introduction to ESEM.* [Internet]. 2nd printing. Netherlands: Robert Johnson Associates; 56 s. Tillgänglig vid: [https://fy.chalmers.se/~f10mh/Halvarsson/EM\\_intro\\_course\\_files/intro\\_to\\_esem.pdf](https://fy.chalmers.se/~f10mh/Halvarsson/EM_intro_course_files/intro_to_esem.pdf)
36. Eriksson J, Johansson N, Kettaneh-Wold, Wold S. *Multi- and Megavariate Data Analysis: Principles and Applications* [Internet]. Umeå: Umetrics Academy; 1–108 s. Tillgänglig vid: <https://doi.org/10.1002/cem.713>
37. PLS [Internet]. [citerad 23 april 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.miljostatistik.se/PLS.html>
38. A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures | *Environmental Science & Technology* [Internet]. [citerad 15 april 2024]. Tillgänglig vid: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c01072>
39. Vinterdäck - Transportstyrelsen [Internet]. [citerad 23 april 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/fordon/fordonsregler/dack/Vinterdack/>
40. Vinterdäck [Internet]. [citerad 23 april 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/luft/styrmedel-och-atgarder/vinterdack>

41. Minerals Education Coalition [Internet]. [citerad 03 maj 2024]. Feldspar. Tillgänglig vid: <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/feldspar/>
42. Olstrup H, Johansson C, Forsberg B, Åström C, Orru H. Seasonal Variations in the Daily Mortality Associated with Exposure to Particles, Nitrogen Dioxide, and Ozone in Stockholm, Sweden, from 2000 to 2016. *Atmosphere*. november 2021;12(11):1481.
43. Grantz DA, Garner JHB, Johnson DW. Ecological effects of particulate matter. *Environment International*. 01 juni 2003;29(2):213–39.
44. Skogen [Internet]. [citerad 23 april 2024]. baskatjon. Tillgänglig vid: <https://www.skogen.se/glossary/baskatjon/>
45. Markförsurning i skogslandskapet [Internet]. [citerad 15 april 2024]. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/miljoovervakning/bedomningsgrunder/markforsurning-i-skogslandskapet/>
46. Morakinyo OM, Mokgobu MI, Mukhola MS, Hunter RP. Health Outcomes of Exposure to Biological and Chemical Components of Inhalable and Respirable Particulate Matter. *Int J Environ Res Public Health*. juni 2016;13(6):592.
47. Witkowska D, Słowik J, Chilicka K. Heavy Metals and Human Health: Possible Exposure Pathways and the Competition for Protein Binding Sites. *Molecules*. 07 oktober 2021;26(19):6060.
48. Tan SY, Praveena SM, Abidin EZ, Cheema MS. A review of heavy metals in indoor dust and its human health-risk implications. *Reviews on Environmental Health*. 01 december 2016;31(4):447–56.
49. Almeida AS, Neves BM, Duarte RMBO. Contribution of water-soluble extracts to the oxidative and inflammatory effects of atmospheric aerosols: A critical review. *Environmental Pollution*. 01 februari 2024;342:123121.
50. Li B, Ma Y, Zhou Y, Chai E. Research progress of different components of PM2.5 and ischemic stroke. *Sci Rep*. 25 september 2023;13:15965.
51. Li T, Yu Y, Sun Z, Duan J. A comprehensive understanding of ambient particulate matter and its components on the adverse health effects based from epidemiological and laboratory evidence. *Part Fibre Toxicol*. 29 november 2022;19:67.
52. Li T, Yang X, Xu H, Liu H. Early Identification, Accurate Diagnosis, and Treatment of Silicosis. *Can Respir J*. 25 april 2022;2022:3769134.
53. How Weather Affects Air Quality | Center for Science Education [Internet]. [citerad 23 april 2024]. Tillgänglig vid: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality/how-weather-affects-air-quality>
54. Oceana [Internet]. 2024 [citerad 23 april 2024]. Om branden på Oceana | Liseberg. Tillgänglig vid: <https://www.liseberg.se/oceana/info-branden-oceana/>
55. Trafikverket. Trafikverket. trafikverket@trafikverket.se; 2024 [citerad 23 april 2024]. E6, Gårda ITS. Tillgänglig vid: <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-i-vastra-gotalands-lan/e6-garda-its/>

# Bilagor

## A.1 Nomenklatur

PM	Luftburna partiklar
PM <sub>2.5</sub>	Partiklar som är mindre än 2.5 µm i diameter
PM <sub>10</sub>	Partiklar som är mindre än 10 µm i diameter
SEM-EDX	Svepelektronmikroskopi-energidispersiv röntgenspektroskopi.
ELPI+	Elektrisk lågtrycksimpaktor
Koronaurladdning	Ett fenomen som uppstår när en elektrod med hög elektrisk potential orsakar jonisering av den omgivande gasen
MP	Mikroplaster

## A.2 Insamling löv

Bilaga 2 visar en tabell över namn på löven som samlades in för analys, samt höjd från mark och avstånd från motorväg där varje löv plockades.

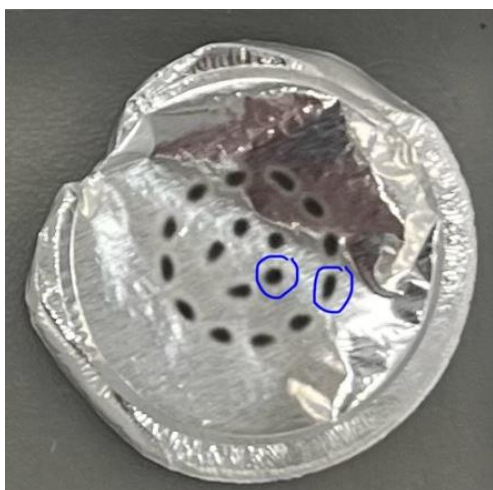
Prov	Namn på löv (latin)	Höjd från mark (m)	Avstånd från motorväg (m)
A	Murgröna ( <i>Hedera helix</i> )	0.61	3.95
B	Sallatsläktet ( <i>Lactuca</i> )	0	2.39
C	Sumatrabinka ( <i>Erigeron sumatrensis</i> )	0.07	2.43
D	Maskros ( <i>Taraxacum</i> )	1.24	2.6
E	Veketåg ( <i>Juncus effusus</i> )	1.24	2.60
F	Slingerry ( <i>Lonicera japonica</i> )	0.58	5
G	Svartkämpar ( <i>Plantago lanceolata</i> )	0.6	5
H	Bok ( <i>Fagus sylvatica</i> )	0	5.3
Blankprov	Pontisk rododendron ( <i>Rhododendron panticum</i> )	1.35	2000

## A.3 Demonstration på hur lövprover togs



#### A.4 Bild på hur luftpartiklarna från ELPI+ analyserades

På varje jämn impaktor-steg analyserades två punkter, se de blåa ringarna. I varje sådan ring som är markerad analyserades 2-3 slumpmässiga partiklar.



#### A.5 Blankprov på löv

Blankprov på bakgrunden på löv, specifikt arten Pontisk rododendron. Blankprovet som togs visade på 100% kol innehåll.

Atomic number	Element symbol	Element name	Atomic concentration	Weight concentration	Energy level
6	C	Carbon	100	100	15000

#### A.6 Blankprov på bakgrunden av ELPI+, Aluminiumplattor.

Blankprov på bakgrunden som använts i ELPI+ för att samla upp partiklar på. Används för att kunna urskilja bakgrund mot partikelinnehåll.

Atomic number	Element symbol	Element name	Atomic concentration	Weight concentration	Energy level
13	Al	Aluminium	100	100	15000

Fit: 0,99

#### A.7 Blankprov på bakgrunden av ELPI+, Polycarbonate collection foils

Blankprov på bakgrunden som använts i ELPI+ för att samla upp partiklar på. Används för att kunna urskilja bakgrund mot partikelinnehåll.

Atomic number	Element symbol	Element name	Atomic concentration	Weight concentration	Energy level
6	C	Carbon	100	100	15000

Fit: 0,97

## A.8 Partikelinnehåll från ESEM

Sammanställning av partikelinnehållet på de prover analyserades med ESEM. Tabellen användes för SIMCA i vidare analys.

Observation	Löv nmr	Löv sort	1 Na	2 Mg	3 Al	4 Si	5 P	6 S	7 Cl	8 K	9 Ca	10 Ti	11 Mn	12 Fe
O1	A	1	1,53	0,52	0,62	2,07	0,7	1,33	3,19	0,63	0	0	0	89,4
O2	A	1	1,61	9,69	14,81	31,15	1,9	1,74	3,6	3,21	1,03	1,93	0,36	28,97
O3	A	1	1,84	0,8	3,42	15,48	0,73	0,43	0,95	1,43	1,45	0	0,75	72,7
O4	A	1	1,24	1,19	29,07	44,98	0	0	1,84	16,31	0	0	0	5,37
O5	B	1	9,7	0,02	20,82	61,6	0	0,25	0,49	1,36	5,74	0	0	0
O6	B	1	0,91	0,08	0,36	2,69	0,22	0,18	0,54	0,76	0,36	0	0,83	93,06
O7	B	1	7,03	0,76	0,77	11,07	1,91	1,84	12,26	16,92	2,33	0	0,29	44,83
O8	B	1	0,74	0,09	11,69	41,56	0,16	0	0	43,5	1,02	0	0	1,23
O9	C	1	1,46	0,39	2,89	15,62	1,16	0,34	0,97	1,57	0,74	0	0,73	74,14
O10	C	1	3,23	1,48	2,35	17,69	3,08	2,77	4,77	2,91	2,45	0	0,62	58,66
O11	C	1	13,61	3,28	3,26	20,05	4,2	5,78	11,6	14,68	4,08	0	0	19,47
O12	D	2	0,65	4,05	24,15	36,59	0,11	0	0	12,23	0,94	0	0	21,29
O13	D	2	0	0,81	94,62	2,64	0,78	0,2	0	0	0,96	0	0	0
O14	E	2	0	10,57	13,94	32	0,02	0	0	12,32	0,78	2,38	0,14	27,84
O15	F	3	2,35	10,24	9,72	40,81	0	0	2,91	2,46	14,33	0	0	17,18
O16	F	3	4,93	3,71	11,03	35,58	0	0,84	3,46	2,71	2,34	0	0	35,4
O17	F	3	10,84	8,95	15,41	25,02	1	0	12,05	4,2	5,67	0	0	16,86
O18	F	3	5,75	3,88	19,55	36,36	0,5	0	6,83	7,5	4,12	0	0	15,47
O19	G	3	3,68	2,91	30,99	45,6	0	0	3,02	3,21	2,53	0	0	8,07
O20	G	3	7,3	3,09	31,38	23,49	1,57	0	5,68	5,56	6,3	0	0	15,63
O21	G	3	14,08	3,36	34,95	20,36	1,39	0	0	6,25	9,03	0	0	10,58
O22	G	3	5,2	2,5	13,43	17,13	0,23	7,43	2,29	2,13	2,22	0	0	7,58
O23	G	3	9,02	4,7	15,34	31,81	0,9	3,11	11,11	3,51	3,04	0	0	17,46
		Total mängd (atom%)	106,7	77,07	404,57	611,35	20,56	26,24	87,56	165,36	71,46	4,31	3,72	681,19
		Medelvärde	4,639130435	3,350869565	17,59	26,58043478	0,893913043	1,140869565	3,806956522	7,189565217	3,106956522	0,187391304	0,16173913	29,61695652
		A-G vilken typ av bild												
		1-3 vilken typ av löv												

## A.9 Sammanställning av partikelinnehållet på prover från ELPI+ mars, Al

Bilaga A.9 visar på sammanställning av partikelinnehållet på luftprover insamlade i mars med ELPI+. De luftprover som användes har uppsamlingsfilm aluminium.

Observat	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta
O1	01_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	75,3	11,88	9,61	1,89	1,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O2	02_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O3	03_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	82,28	17,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O4	04_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	79,11	19,19	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O5	05_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	82,29	16,35	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O6	06_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	39,51	48,7	0	0	11,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O7	07_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	79,43	11,34	9,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O8	08_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	45,76	2,21	8,06	24,77	1,03	9,12	6,54	1,47	1,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O9	09_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	34,43	5,97	0	47,42	0	5,03	2,6	0	0	4,56	0	0	0	0	0	0	0	0
O10	010_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	42,28	0	0	53,38	0	4,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O11	011_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	35,39	4,75	4,35	48,56	0	6,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O12	012_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	39,11	5,28	0	43,21	0	10,7	0	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0
O13	013_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	32,63	8,18	4,61	44,44	1,17	7,51	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0
O14	014_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	27,15	1,44	35,63	0	0	4,94	2,59	0	0	0	26,79	0	0	0	0	0	0	0
O15	015_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	41,56	2,06	27,53	0	0	2,69	1,45	0	1,01	0	23,69	0	0	0	0	0	0	0
O16	016_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	30,2	5,08	28,46	3,8	0	6,68	6,21	0	0	0	19,57	0	0	0	0	0	0	0
O17	017_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	14,45	0	48,56	0	0	1,94	0	0	0	0	35,04	0	0	0	0	0	0	0
O18	018_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	13,31	16,68	22,77	8,8	3,6	2,28	5,15	0	0	0	27,41	0	0	0	0	0	0	0
O19	019_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	13,53	28,25	20,19	7,39	0	1,61	5,74	1,55	3,99	0	17,75	0	0	0	0	0	0	0
O20	020_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	5,02	3,57	41,67	3,27	0	2,17	3,08	0	1,65	0	39,56	0	0	0	0	0	0	0
O21	021_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	55,25	0	21,58	0	0	0	1,41	0	0	0	21,77	0	0	0	0	0	0	0
O22	022_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	47,47	4,43	16,59	0	0	2,1	1,34	0	1,63	0	26,45	0	0	0	0	0	0	0
O23	023_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	23,88	15,37	17,54	29,55	0	0	0	0	0	0	13,66	0	0	0	0	0	0	0
O24	024_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	16,21	8,74	32,48	16,47	0	1,91	2,76	0	0	0	21,43	0	0	0	0	0	0	0
O25	025_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	22,25	6,75	27,34	0	0	4,11	7,95	0	2,56	0	29,03	0	0	0	0	0	0	0
O26	026_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	21,51	21,92	21,02	6,12	3,1	0	6,7	0	0	0	19,63	0	0	0	0	0	0	0
O27	027_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	80	14,24	5,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O28	028_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	41,29	0	32,15	0	0	1,2	1,59	0	0	0	23,77	0	0	0	0	0	0	0
O29	029_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	38,93	59,73	0	0	1,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O30	030_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	63,68	20,99	0	7,37	2,71	0	5,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## A.10 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på prover från ELPI+ mars, Al

Bilaga A.10 visar på sammanställning av partikelinnehållet på luftprover insamlade i mars med ELPI+. De luftprover som användes har uppsamlingsfilm aluminium. Värdena är korrigerade. C, O och Al har nollställts och resterande värden är korrigerade efter detta.

Observation	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta	KONSTROLLSU storlek	mitt/kant	
O1	01_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	74,9609	14,7425	10,2964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	2 M	
O2	02_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 M
O3	03_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 M	
O4	04_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 M	
O5	05_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 M	
O6	06_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	80,5091	0	0	19,4908	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 K	
O7	07_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4 K
O8	08_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	4,07523	14,8626	45,6758	1,89931	16,8172	12,0597	2,71067	1,89931	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99997273	6 M	
O9	09_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	9,10338	0	72,3086	0	7,67002	3,96462	0	0	6,95333	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99999482	6 M	
O10	010_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	0	0	92,4809	0	7,51905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6 M	
O11	011_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	7,35066	6,73166	75,1470	0	10,7706	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99999457	6 K	
O12	012_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	8,67137	0	70,9640	0	17,5726	0	0	0	0	2,79191	0	0	0	0	0	0	0	99,99999539	6 K	
O13	013_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	12,1437	6,84382	65,9738	1,73693	11,1490	0	0	0	0	2,15261	0	0	0	0	0	0	0	99,99999454	6 K	
O14	014_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	2,01708	49,9089	0	0	6,91973	3,62795	0	0	0	37,5262	0	0	0	0	0	0	0	99,99999077	8 M	
O15	015_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	47,1162	0	0	4,60379	2,48160	0	1,72856	0	40,5442	0	0	0	0	0	0	0	0	96,47441383	8 M	
O16	016_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	3,52558	40,7736	5,44412	0	9,57020	8,89684	0	0	28,0372	0	0	0	0	0	0	0	0	96,24764304	8 K	
O17	017_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	0	56,7687	0	0	2,26794	0	0	0	40,9632	0	0	0	0	0	0	0	0	100	8 K	
O18	018_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	19,2409	26,2660	10,1511	4,15272	2,63006	5,94070	0	0	31,6184	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99992642	10 M	
O19	019_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	32,6702	23,3491	8,54631	0	1,86191	6,63814	1,79252	4,61431	0	20,5273	0	0	0	0	0	0	0	99,99990973	10 M	
O20	020_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	3,75908	43,8770	3,44319	0	2,28493	3,24312	0	1,73739	0	41,6552	0	0	0	0	0	0	0	99,99999818	10 M	
O21	021_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	0	48,2126	0	0	0	3,15013	0	0	48,6371	0	0	0	0	0	0	0	0	100	10 K	
O22	022_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	8,43167	31,5759	0	0	3,99695	2,55043	0	3,10239	0	50,3425	0	0	0	0	0	0	0	99,99999889	10 K	
O23	023_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	20,1918	23,0425	38,8202	0	0	0	0	0	17,9453	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99999758	12 M	
O24	024_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	10,4308	38,7635	19,6562	0	2,27950	3,29394	0	0	25,5758	0	0	0	0	0	0	0	0	99,9999961	12 M	
O25	025_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	8,68278	35,1685	0	0	5,28685	10,2263	0	3,29302	0	37,3424	0	0	0	0	0	0	0	99,99999122	12 K	
O26	026_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	27,9271	26,7804	7,79717	3,94954	0	8,53611	0	0	25,0095	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99997553	12 K	
O27	027_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 M	
O28	028_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	0	54,7606	0	0	2,04394	2,70822	0	0	40,4871	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 M	
O29	029_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	97,8057	0	0	2,19420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99990337	14 K	
O30	030_Gårda_VÅR_Aluminium	VÅR	Aluminium	0	0	57,7759	0	20,2862	7,45939	0	14,4783	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99995725	14 K	

### A.11 Sammanställning av partikelinnehållet på prover från ELPI+ oktober, Al

Partikelinnehållet på luftprover från oktober sammanställdes i excel. Uppsamlingsfilmen som användes var aluminium.

Observatör	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta
O31	031_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	85,99	9,52	0	0	4,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O32	032_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	46,04	3,25	0	42,22	0	0	5,32	1,77	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O33	033_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	89,88	6,04	0	0	3,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O34	034_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	22,01	0	40,24	0	1,29	6,35	0	0	1,07	0	29,04	0	0	0	0	0	0	0
O35	035_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	50,42	0	0	41,92	2,05	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O36	036_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	47,53	0	0	8,22	5,26	21,39	0	0	10,6	0	7	0	0	0	0	0	0	0
O37	037_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	57,87	5,79	0	0	4,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,58	0	0	0
O38	038_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	74,94	0	0	21,88	0	2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O39	039_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	38,52	4,24	0	55,66	0	1,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O40	040_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	31,89	0	0	0	0	21,13	0	0	0	0	0	35,94	6,1	0	0	0	0	0
O41	041_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	18,32	3,79	32,47	0	1,75	4,09	2,98	0	0	0	36,6	0	0	0	0	0	0	0
O42	042_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	8,87	0	49,48	0	1,92	0	0	0	0	0	27,57	0	0	0	0	0	0	0
O43	043_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	18,32	3,79	32,47	0	1,75	4,09	2,98	0	0	0	36,6	0	0	0	0	0	0	0
O44	044_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	12,05	1,7	44,49	8,08	1,14	2,42	2,55	0	0	0	27,57	0	0	0	0	0	0	0
O45	045_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	14,47	0	42,78	0	0	3,46	2,63	0	1,57	0	35,09	0	0	0	0	0	0	0
O46	046_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	4,33	1,87	49,13	0	1,58	4,42	0	0	0	38,67	0	0	0	0	0	0	0	0
O47	047_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	7,27	0	41,33	0	0	0	0	0	0	0	51,4	0	0	0	0	0	0	0
O48	048_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	3,91	0	56,98	0	0	0	0	0	0	0	39,11	0	0	0	0	0	0	0
O49	049_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	2,55	1,31	57,26	0	0	0	0	0	0	0	38,88	0	0	0	0	0	0	0
O50	050_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	16,01	29,28	15,67	16,73	0	0	7,9	2,53	0	0	11,87	0	0	0	0	0	0	0
O51	051_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	51,78	9,17	0	0	0	0	0	0	39,06	0	0	0	0	0	0	0
O52	052_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	3,33	1,29	21,6	26,03	0	0	0	0	0	0	47,76	0	0	0	0	0	0	0
O53	053_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	1,31	51,61	8,19	0	1,43	2,86	0	0	0	34,59	0	0	0	0	0	0	0
O54	054_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	70,16	4,66	0	22,36	0	0	0	0	0	0	2,82	0	0	0	0	0	0	0
O55	055_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	60,59	26,04	3,82	2,9	1,97	0	2,36	0	1,16	0	1,16	0	0	0	0	0	0	0
O56	056_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	19,84	0	45,02	0	0	0	0	0	0	0	35,13	0	0	0	0	0	0	0
O57	057_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	70,56	20,55	0	4,47	2,2	0	2,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O58	058_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	43,36	51,53	2,28	0	2,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O59	059_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	49,15	29,08	0	16,76	5,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O60	060_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	57,37	0	0	41,45	0	0	0	0	0	0	1,18	0	0	0	0	0	0	0

## A.12 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på prover från ELPI+ oktober, Al

Partikelinnehållet på luftprover från oktober sammanställdes i excel. Uppsamlingsfilmen som användes var aluminium. Värdena är korrigerade. C, O och Al har nollställts och resterande värden är korrigerade efter detta.

Observatör	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta	KONSTROLLSU storlek	mitt/kant	
O31	031_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 M
O32	032_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0,622297	0	78,2431	0	0	9,85915	3,28020	2,59451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99999001	4 M	
O33	033_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 K	
O34	034_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	51,5963	0	1,65405	8,14206	0	0	1,37197	0	37,2355	0	0	0	0	0	0	0	100	4 K	
O35	035_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	84,5672	4,13556	11,2971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 K	
O36	036_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	15,6660	10,0247	40,7661	0	0	20,2020	0	13,3409	0	0	0	0	0	0	0	0	100	4 K	
O37	037_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6 M	
O38	038_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	90,6755	0	9,32449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6 M	
O39	039_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0,689655	0	90,5335	0	2,56994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99999828	6 K	
O40	040_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	0	33,4494	0	0	0	0	0	0	56,8940	9,65648	0	0	0	0	0	0	100	6 K	
O41	041_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	4,64005	39,7526	0	2,14250	5,00734	3,64838	0	0	44,8090	0	0	0	0	0	0	0	0	100	6 K	
O42	042_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	62,6567	0	2,43130	0	0	0	0	34,9119	0	0	0	0	0	0	0	0	100	8 M	
O43	043_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	4,64005	39,7526	0	2,14250	5,00734	3,64838	0	0	44,8090	0	0	0	0	0	0	0	0	100	8 M	
O44	044_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	1,93291	50,5855	9,18703	1,29619	2,75156	2,89937	0	0	0	31,3473	0	0	0	0	0	0	0	0	100	8 K	
O45	045_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	50,0175	0	0	4,04536	3,07494	0	1,83561	0	41,0265	0	0	0	0	0	0	0	100	8 K	
O46	046_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	1,95463	51,3536	0	0	1,85151	4,62004	0	0	40,4201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	10 K	
O47	047_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	44,5702	0	0	0	0	0	0	55,4297	0	0	0	0	0	0	0	0	100	10 K	
O48	048_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	59,2985	0	0	0	0	0	0	40,7014	0	0	0	0	0	0	0	0	100	10 M	
O49	049_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	1,34427	58,7583	0	0	0	0	0	0	39,8973	0	0	0	0	0	0	0	0	100	10 M	
O50	050_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	34,8654	18,6592	19,9214	0	0	9,40700	3,01262	0	14,1343	0	0	0	0	0	0	0	0	100	12 M	
O51	051_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	51,7748	9,16908	0	0	0	0	0	39,0560	0	0	0	0	0	0	0	0	100	12 M	
O52	052_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	1,33429	22,3417	26,9238	0	0	0	0	0	0	49,4000	0	0	0	0	0	0	0	0	100	12 K	
O53	053_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	1,31013	51,6151	8,19081	0	1,43014	2,86028	0	0	0	34,5934	0	0	0	0	0	0	0	0	100	12 K	
O54	054_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	15,6166	0	74,9329	0	0	0	0	0	9,45040	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 M	
O55	055_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	66,0746	9,69297	7,35853	4,99873	0	5,98832	0	2,94341	0	2,94341	0	0	0	0	0	0	0	100	14 M	
O56	056_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	56,1696	0	0	0	0	0	0	43,8303	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 M	
O57	057_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	70,0647	0	15,2403	7,50085	0	7,19399	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 K	
O58	058_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	90,9941	4,02613	0	4,97969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 K	
O59	059_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	57,1765	0	32,9532	9,87023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 K	
O60	060_Gårda_HÖST_Aluminium	HÖST	Aluminium	0	0	0	97,2319	0	0	0	0	0	0	2,76800	0	0	0	0	0	0	0	0	100	14 K	

### A.13 Sammanställning av partikelinnehållet på luftprover från mars, Plast

Luftprover som samlades in med ELPI+ i mars sammanställdes i excelfil nedan. På dessa prover användes polycarbonatfilm.

Observatic	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta
Ämne																						
O61	061_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	98,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,03	0	0	0
O62	062_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	98,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,69	0	0	0
O63	063_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	98,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,9	0	0	0
O64	064_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	31,15	18,11	0	10,85	5,44	0	0	12,21	0	22,24	0	0	0	0	0	0	0
O65	065_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	30,47	0	0	0	0	0	0	69,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O66	066_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O67	067_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	95,42	1,12	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O68	068_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	16,56	72,96	2,84	5,24	0	0	0	0	2,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O69	069_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	98,77	0	1,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O70	070_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	0	23,42	0	10,25	66,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O71	071_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	11,27	16,49	0	11,56	60,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O72	072_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	4,17	0	83,07	0	12,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O73	073_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	89,47	0	9,4	0	0	0	1,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O74	074_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	5,13	16,9	30,18	0	0	47,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O75	075_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	18,93	25,2	0	5,68	50,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O76	076_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	5,19	25,55	22,81	17,45	0	23,34	3,42	0	2,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O77	077_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	22,09	21,88	11,19	2,8	32,62	9,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O78	078_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	10,4	51,86	0	0	37,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O79	079_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	12,58	48,67	0	0	38,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O80	080_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	1,32	49,01	0	0	5,39	10,5	0	0	0	33,78	0	0	0	0	0	0	0
O81	081_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	2,82	49,15	0	0	2,98	7,63	0	1,07	0	36,34	0	0	0	0	0	0	0
O82	082_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	1,74	51,64	5,19	0	2,88	10,66	0	0	0	27,89	0	0	0	0	0	0	0
O83	083_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	1,51	0	0	1,09	13,04	19,37	0	1,11	0	24,29	0	0	0	0	0	0	0
O84	084_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	8,81	51,13	0	0	0	5,4	0	0	0	34,67	0	0	0	0	0	0	0
O85	085_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	15,83	43,16	27,91	0	0	0	0	0	0	0	13,1	0	0	0	0	0	0	0
O86	086_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	0	7,6	26,19	0	51,68	0	0	0	0	0	14,54	0	0	0	0	0	0	0
O87	087_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	9,53	27,15	30,47	4,57	7,16	0	3,94	0	1,23	0	15,94	0	0	0	0	0	0	0
O88	088_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	15,41	57,84	0	0	5,98	20,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O89	089_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	33,85	54,07	0	0	12,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O90	090_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	20,27	61,06	5,8	0	5,51	0	7,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O91	091_Gårda_VÅR_Plast	VÅR	Plast	0	15,79	61,39	6,62	5,69	3,56	0	4,15	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### A.14 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på luftprover från mars, Plast

Luftprover som samlades in med ELPI+ i mars sammanställdes i excelfil nedan. På dessa prover användes polycarbonatfilm. Värdena är korrigerade. C och O har nollställts och resterande värden är korrigerade efter detta.

Observation	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta	KONSTROLLS	U	storlek	mitt/kant
O61	061_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100		2	K
O62	062_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100		2	K
O63	063_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100		2	K
O64	064_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	31,15	18,11	0	10,85	5,44	0	0	12,21	0	22,24	0	0	0	0	0	0	0	100		2	M
O65	065_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	30,47	0	0	0	0	0	0	69,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		2	M
O66	066_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		4	K
O67	067_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	24,4541	75,5458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99995153		4	K
O68	068_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	16,5583	72,9527	2,8397	15,23947	0	0	0	0	2,40975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99995583		4	M
O69	069_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		4	M
O70	070_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	0	23,42	0	10,25	66,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		6	K
O71	071_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	11,27	16,49	0	11,56	60,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		6	K
O72	072_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	4,17	0	83,07	0	12,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		6	M
O73	073_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	89,3536	0	0	0	10,6463	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		6	M
O74	074_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	5,13051	16,9016	30,1830	0	0	47,7847	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99999695		8	K
O75	075_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	18,93	25,2	0	5,68	50,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		8	K
O76	076_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	5,19051	25,5525	22,8122	17,4517	0	23,3423	3,42034	0	2,23022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,99999095		8	K
O77	077_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	22,09	21,88	11,19	2,8	32,62	9,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		8	M
O78	078_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	10,3989	51,8548	0	0	37,7462	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		8	M
O79	079_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	12,58	48,67	0	0	38,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		8	M
O80	080_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	1,32	49,01	0	0	5,39	10,5	0	0	0	33,78	0	0	0	0	0	0	0	100		10	K
O81	081_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	2,82028	49,1549	0	0	2,98029	7,63076	0	1,07010	0	36,3436	0	0	0	0	0	0	0	100		10	K
O82	082_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	1,74	51,64	5,19	0	2,88	10,66	0	0	0	27,89	0	0	0	0	0	0	0	100		10	M
O83	083_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	2,49958	0	0	1,80433	21,5858	32,0642	0	1,83744	0	40,2085	0	0	0	0	0	0	0	100		10	M
O84	084_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	8,80911	51,1248	0	0	0	5,39946	0	0	0	34,6665	0	0	0	0	0	0	0	100		12	K
O85	085_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	15,83	43,16	27,91	0	0	0	0	0	0	0	13,1	0	0	0	0	0	0	0	100		12	K
O86	086_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	0	7,59924	26,1873	0	51,6748	0	0	0	0	0	14,5385	0	0	0	0	0	0	0	100		12	M
O87	087_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	9,53095	27,1527	30,4730	4,57045	7,16071	0	3,94039	0	1,23012	0	15,9415	0	0	0	0	0	0	0	100		12	M
O88	088_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	15,41	57,84	0	0	5,98	20,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		14	K
O89	089_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	33,8466	54,0645	0	0	12,0887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		14	K
O90	090_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	20,27	61,06	5,8	0	5,51	0	7,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		14	M
O91	091_Gårda_VÅR_Plost	VAR	Plast	0	15,79	61,39	6,62	5,69	3,56	0	4,15	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100		14	M

### A.15 Sammanställning av partikelinnehållet på lövprover från februari

Lövproverna samlades in i slutet av februari sammanställdes i excelfil nedan.

Observatör	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta
O92	092_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	43,95	1,59	3,64	0	0	0	0	2,17	0	2,21	0	0	0	0	0	46,44	0	0	0
O93	093_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	56,76	0	4,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38,88	0	0	0
O94	094_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	58,55	0	3,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37,76	0	0	0
O95	095_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	4,54	0	0	0	0	9,11	0	6,41	0	0	0	0	0	79,62	0	0	0
O96	096_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	9,47	22,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68,28	0	0	0
O97	097_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	53,38	0	0	46,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O98	098_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	7,51	18,58	0	0	4,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69,21	0	0	0
O99	099_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	18,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81,12	0	0	0
O100	0100_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	21,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78,53	0	0	0
O101	0101_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	21,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78,2	0	0	0
O102	0102_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	21,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79	0	0	0
O103	0103_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	65,03	0	2,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32,28	0	0	0
O104	0104_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	69,74	0	0	0	5,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,54	0	0	1,72
O105	0105_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	66,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,62	0	0	2,1
O106	0106_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	67,57	0	1,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30,64	0	0	0
O107	0107_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O108	0108_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O109	0109_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	84,25	0	0	3,19	0	0	0	1,06	0	9,91	0	1,07	0	0	0	0	0	0	0
O110	0110_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	7,06	0	4,21	0	0	0	4,78	0	4,91	0	0	0	79,05	0	0	0
O111	0111_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	90,33	1,52	2,97	0	1,52	0	0	1,59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O112	0112_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	50,51	0	0	0	47,87	1,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O113	0113_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	96,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,94	0	1,64	0	0
O114	0114_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	11,2	13,38	0	0	11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72,07	0	0	0
O115	0115_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	14,64	14,64	0	0	6,53	0	0	0	0	0	3,23	0	0	0	69,36	0	0	0
O116	0116_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	6,52	17,72	0	0	4,59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71,17	0	0	0
O117	0117_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	7,73	19,32	7,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65,25	0	0	0
O118	0118_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	6,72	11,61	0	4,24	0	0	5,08	0	0	0	0	0	0	0	72,35	0	0	0
O119	0119_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	9,12	25	0	0	7,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58,34	0	0	0
O120	0120_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	12,89	15,07	0	0	3,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68,45	0	0	0
O121	0121_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	16,71	0	6,22	0	0	5,77	0	0	0	0	0	0	0	65,75	0	5,54	0

## A.16 Sammanställning av korrigerade partikelinnehållet på lövprover från februari

Lövproverna samlades in i slutet av februari sammanställdes i excelfil nedan. Värdena är korrigerade. C och O har nollställts och resterande värden är korrigerade efter detta.

Observatör	Obsnamn	Årstid	Material	C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta	KONSTROLLSUS	Löv Sort	
O92	092_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	16,5452	37,8772	0	0	0	22,5806	0	22,9968	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Murgröna
O93	093_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Murgröna
O94	094_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Murgröna
O95	095_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	22,6321	0	0	0	45,4137	0	31,9541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Murgröna
O96	096_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	29,8549	70,1450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Sallatsläktet
O97	097_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	53,38	0	0	46,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Sallatsläktet
O98	098_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	24,3910	60,3442	0	0	15,2646	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Erigeron sumatrensis
O99	099_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Maskros
O100	0100_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Maskros
O101	0101_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Maskros
O102	0102_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Maskros
O103	0103_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Veketåg
O104	0104_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	76,3085	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,6914	0	100	Veketåg
O105	0105_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Veketåg	
O106	0106_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Veketåg
O107	0107_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Slingentry
O108	0108_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Slingentry
O109	0109_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	20,9455	0	0	6,95994	0	65,0689	0	7,02560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Slingentry
O110	0110_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	33,6832	0	20,0858	0	0	22,8053	0	23,4255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Slingentry
O111	0111_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	20	39,0789	0	20	0	20,9210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Slingentry
O112	0112_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	0	0	50,51	0	0	0	47,87	1,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Slingentry
O113	0113_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	96,4203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,93980	0	1,63983	0	0	0	100	Slingentry
O114	0114_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	31,3024	37,3951	0	0	31,3024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Svartkämpar
O115	0115_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	37,5	37,5	0	0	16,7264	0	0	0	0	8,27356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Svartkämpar
O116	0116_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	22,6153	61,4637	0	0	15,9209	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Svartkämpar
O117	0117_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	22,2446	55,5971	22,1582	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Svartkämpar
O118	0118_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	24,3037	41,9891	0	15,3345	0	0	18,3725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Bok
O119	0119_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	21,8915	60,0096	0	0	18,0988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Bok
O120	0120_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	40,8687	47,7805	0	0	11,3506	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Bok
O121	0121_Gårda_VÅR_Löv	VÅR	Löv	0	0	48,8025	0	18,1658	0	0	16,8516	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,1799	0	0	100	Bok

## A.17 Sammanställning av medelvärde av partikelinnehållet på samtliga prover

Utifrån de observerade proverna sammanställdes summa och medelvärde för alla atomslag som observerades i proverna.

		C	Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	O	V	Br	Ta
ALLA	Summa ALLA prover:	1911,37	2040,83	1527,79	1628,16	886,18	267,17	574,4	203,11	55,19	345,19	43,23	1083,13	35,94	6,1	6,56	1427,49	1,64	5,54	3,82
	Medelvärde ALLA prover:	15,7964	16,8663	12,6263	13,4558	7,32380	2,20801	4,74710	1,67859	0,45611	2,85280	0,35727	8,95148	0,29702	0,05041	0,05421	11,7974	0,01355	0,04578	0,03157
LUFT	Summa ALLA luftprover:	1308,91	1951,92	1097,74	1610,21	818,15	178,2	574,4	178,33	7,32	120,26	43,23	1073,92	35,94	6,1	4,62	31,58	0	0	0
	Medelvärde ALLA luftprover:	14,3836	21,4496	12,0630	17,6946	8,99065	1,95824	6,31208	1,95967	0,08043	1,32153	0,47505	11,8013	0,39494	0,06703	0,05076	0,34703	0	0	0
LÖV	Summa ALLA lövprover:	602,46	88,91	430,05	17,95	68,03	88,97	0	24,78	47,87	224,93	0	9,21	0	0	1,94	1395,91	1,64	5,54	3,82
	Medelvärde ALLA lövprover:	20,082	2,96366	14,335	0,59833	2,26766	2,96566	0	0,826	1,59566	7,49766	0	0,307	0	0	0,06466	46,5303	0,05466	0,18466	0,12733
LUFT	Medelvärde MARS luftprover:	17,6257	18,6681	14,9844	15,9311	7,86836	2,50737	8,14934	2,33147	0,04950	1,71245	0,07475	9,36868	0	0	0,07573	0	0	0	0
MÅNAD	Medelvärde OKTOBER luftprover	7,79133	27,1053	6,123	21,2803	11,2726	0,84166	2,57633	1,20366	0,14333	0,52666	1,289	16,7476	1,198	0,20333	0	1,05266	0	0	0
LUFT	Medelvärde ALUMINIUM prover:	10,4978	30,2206	8,31183	17,5138	11,4291	0,83316	2,543	1,608	0,122	0,46116	0,7205	14,1855	0,599	0,10166	0	0,52633	0	0	0
MATERIAL	Medelvärde PLAST prover:	21,9045	4,47354	19,3235	18,0445	4,27096	4,13580	13,6070	2,64032	0	2,98677	0	7,18677	0	0	0,14903	0	0	0	0
VÅR	Medelvärde MARS luftprover:	17,6257	18,6681	14,9844	15,9311	7,86836	2,50737	8,14934	2,33147	0,04950	1,71245	0,07475	9,36868	0	0	0,07573	0	0	0	0
LUFT/LÖV	Medelvärde ALLA lövprover:	14,3836	21,4496	12,0630	17,6946	8,99065	1,95824	6,31208	1,95967	0,08043	1,32153	0,47505	11,8013	0,39494	0,06703	0,05076	0,34703	0	0	0

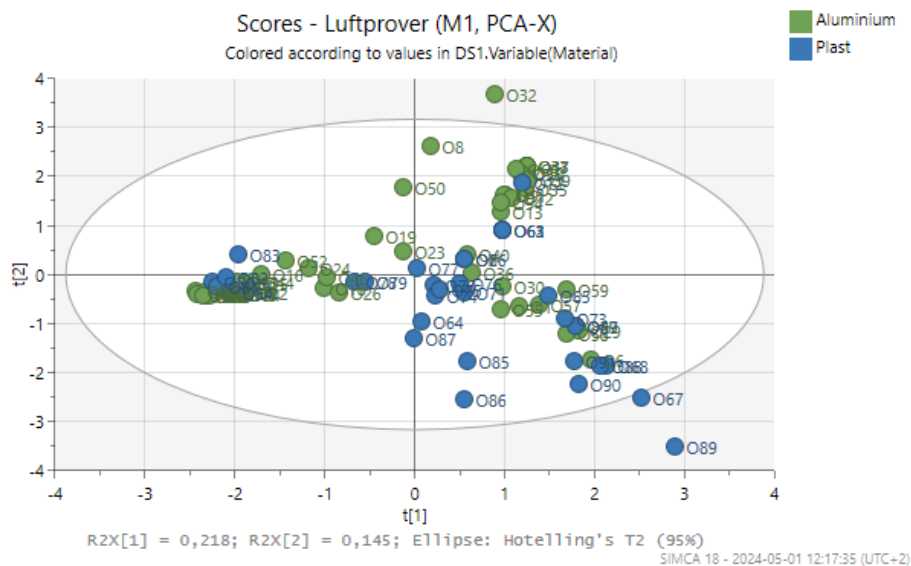
## A.18 Sammanställning av korrigerade medelvärde av partikelinnehållet på samtliga prover

Utifrån de observerade proverna sammanställdes summa och medelvärde för alla atomslag som observerades i proverna. O och C har nollställts på samtliga prov, och Al nollställts i luftprover på aluminiumfilm. Resterande värden är korrigerade utifrån detta.

		Al	Si	Na	Fe	K	S	Mg	Ti	Ca	Cu	Cl	Ni	P	Cr	V	Br	Ta
ALLA	Summa ALLA korr prover:	453,528	3578,90	1948,33	1920,50	393,916	683,014	370,641	58,6660	483,085	47,3735	1348,27	56,8940	9,65648	301,939	1,63983	16,1799	123,691
	Medelvärde ALLA korr prover:	3,74817	29,5777	16,1019	15,8719	3,25550	5,64474	3,06314	0,48484	3,99244	0,39151	11,1427	0,47019	0,07980	2,49537	0,01355	0,13371	1,02224
LUFT	Summa ALLA korr luftprover:	162,010	2008,48	1871,54	1740,18	218,546	683,014	239,541	10,7960	138,640	47,3735	1309,55	56,8940	9,65648	300	0	0	0
	Medelvärde ALLA korr luftprover:	1,78034	22,0712	20,5664	19,1229	2,40161	7,50565	2,63232	0,11863	1,52351	0,52058	14,3906	0,62520	0,10611	3,29670	0	0	0
LÖV	Summa ALLA korr lövprover:	291,517	1570,41	76,7869	180,318	175,369	0	131,099	47,87	344,445	0	38,7247	0	0	1,93980	1,63983	16,1799	123,691
	Medelvärde ALLA korr lövprover:	9,71725	52,3471	2,55956	6,01063	5,84566	0	4,36998	1,59566	11,4815	0	1,29082	0	0	0,06466	0,05466	0,53933	4,12304
LUFT	Medelvärde MARS korr luftprover:	2,65591	26,9445	18,8348	12,7769	2,78363	9,10066	3,05478	0,07382	1,79824	0,11398	11,9650	0	0	4,91803	0	0	0
MÅNAD	Medelvärde OKTOBER korr luftprover	0	12,1622	24,0874	32,0264	1,62483	4,26246	1,77333	0,20976	0,96491	1,34733	19,3228	1,89646	0,32188	0	0	0	0
LUFT	Medelvärde ALUMINIUM korr prover:	0	19,2944	21,8694	26,7964	1,49380	4,05197	2,41660	0,17993	0,75537	0,78955	17,8473	0,94823	0,16094	0	0	0	0
MATERIAL	Medelvärde PLAST korr prover:	5,22616	27,4458	18,0445	4,27102	4,15866	14,1901	3,04984	0	3,01024	0	7,70028	0	0	9,67741	0	0	0
VÅR	Medelvärde MARS korr luftprover:	2,65591	26,9445	18,8348	12,7769	2,78363	9,10066	3,05478	0,07382	1,79824	0,11398	11,9650	0	0	4,91803	0	0	0
LUFT/LÖV	Medelvärde ALLA korr lövprover:	1,78034	22,0712	20,5664	19,1229	2,40161	7,50565	2,63232	0,11863	1,52351	0,52058	14,3906	0,62520	0,10611	3,29670	0	0	0
LÖVSORT	Medelvärde Murgröna:	4,13631	65,1273	0	0	0	0	16,9986	0	13,7377	0	0	0	0	0	0	0	0
	Medelvärde Sallatsläktet:	14,9274	61,7625	0	0	23,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Medelvärde Erigeron sumatrensis:	24,3910	60,3442	0	0	15,2646	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Medelvärde Maskros:	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Medelvärde Veketåg:	0	50	0	19,0771	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Medelvärde Slingerty:	2,85714	19,3570	7,80410	10,0728	2,86941	0	3,98300	6,83857	41,3563	0	4,35016	0	0	0,27711	0	0,23426	0
	Medelvärde Svartkämpar:	28,4155	47,9890	5,53956	0	15,9874	0	0	0	0	0	2,06839	0	0	0	0	0	0
	Medelvärde Bok:	21,7660	49,6454	0	8,37510	7,36239	0	8,80603	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,04497

## A.19 LUFT plast vs aluminium

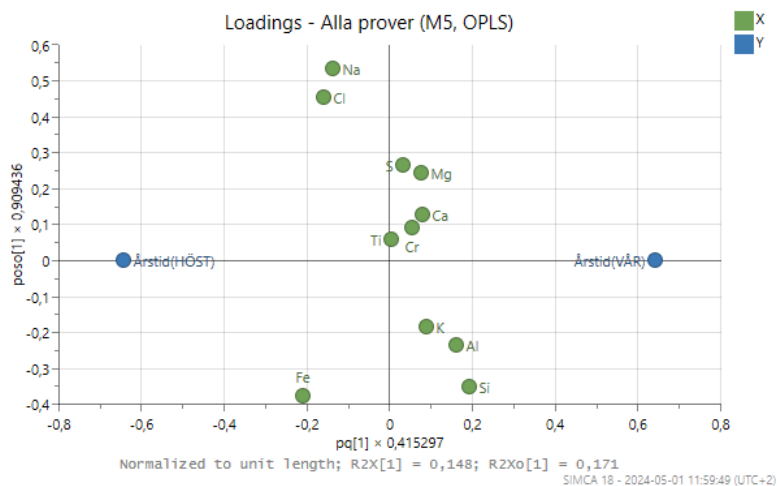
Under studien användes två uppsamlingsfilmer för luftproverna, aluminium och polykarbonat. En score-plot gjordes för att se hur partikelinnehållet varierade beroende på vilken film som användes. En analys som var nödvändig för att kunna utesluta felaktiga partikelidentifieringar.



Enligt score-ploten som gjordes ses ingen större skillnad mellan de två uppsamlingsfilmerna. De befinner sig utspridda någorlunda jämnt med ett fåtal outliers. Även om en del av uppsamlingsfilmerna bestående av polykarbonat drar sig snett nedåt åt höger om mitten kan detta ha med partikelinnehållet i jämförelse med årstider över uppsamlingsfilmen. Det som kan påverka är att i prover med aluminiumfilm har Al innehållet nollställt.

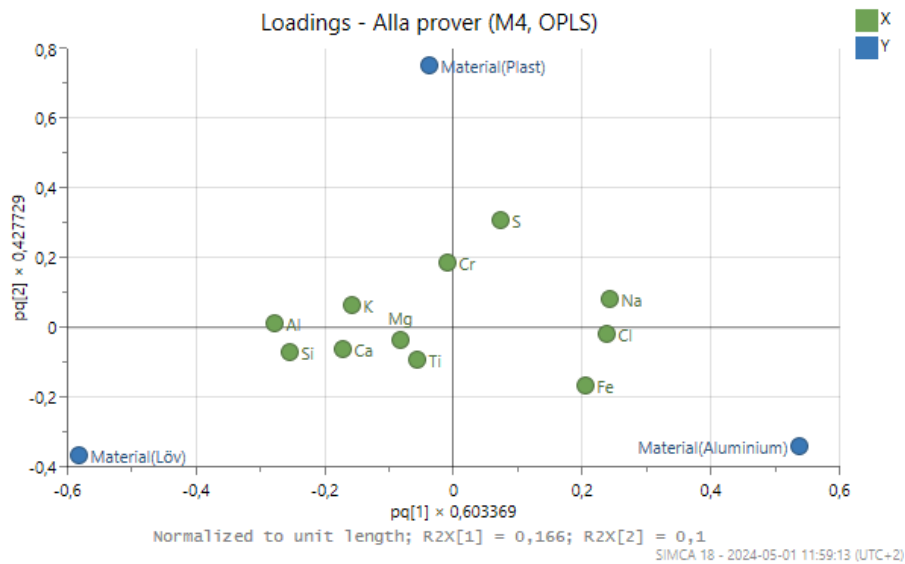
## A.20 Loading-plot över hur proverna varierar med årstid

En OPLS-DA metod gjordes för att se hur årstiderna skiljde sig. Loading-ploten visade på hur de olika atomslagen dras till de olika årstiderna, beroende på dess atomkoncentrationer (%).



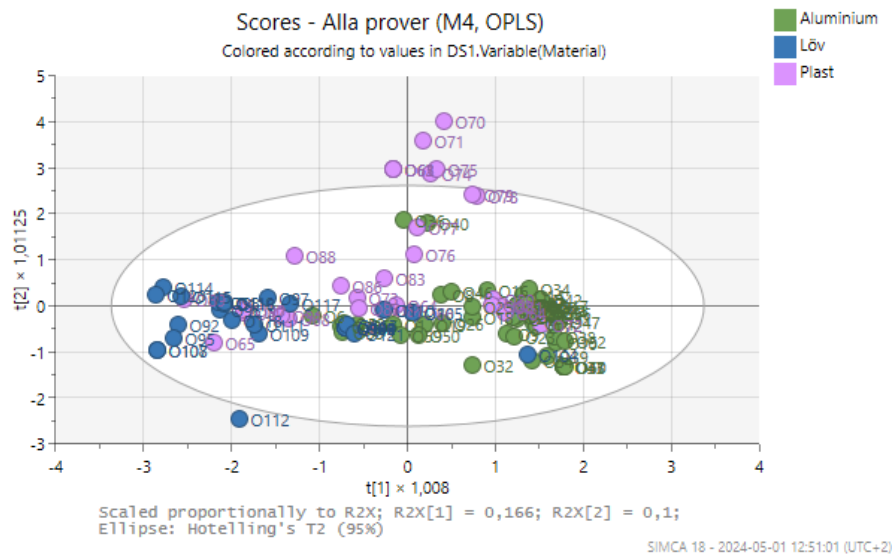
### A.21 Loading-plot över hur proverna varierar med uppsamlingsfilm

En OPLS modell gjordes för alla observerade prover för att se hur uppsamlingsfilmerna påverkade resultatet. I loading-ploten kan ses de tre filmerna som blått och atomslagen som grönt. I figuren visas vilka atomslag som dras vart men dom flesta befinner sig kring mitten vilket visar på att uppsamlingsfilmen inte har någon större påverkan. Även fast många utav dem drar sig utåt mot en uppsamlingsfilm.



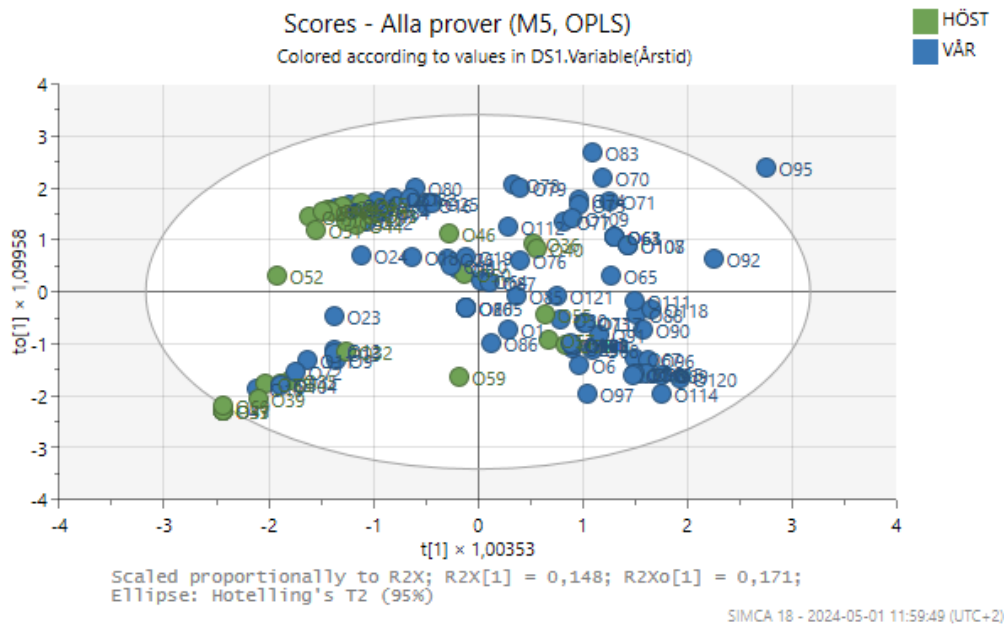
### A.22 Luft vs Löv OPLS score-plot

Vid jämförelse av löv mot luft gjordes en OPLS-DA modell. Score-plotten stärker argumentet på hur de olika atomkoncentrationerna (%) urskiljer sig utifrån vilken typ av bakgrund som användes.



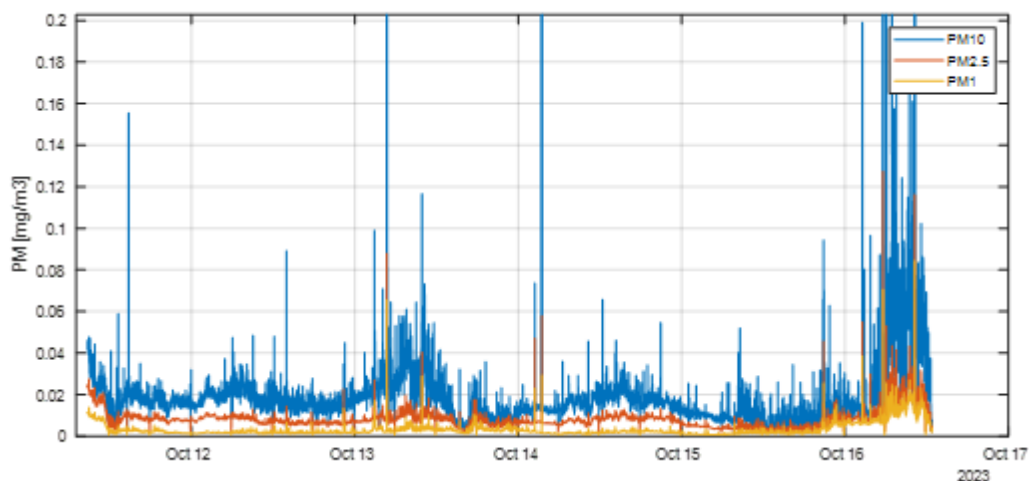
### A.23 Analys hur luft och löv varierade med månad

Jämförelse på alla observationer ut efter vilken årstid som de var insamlade.



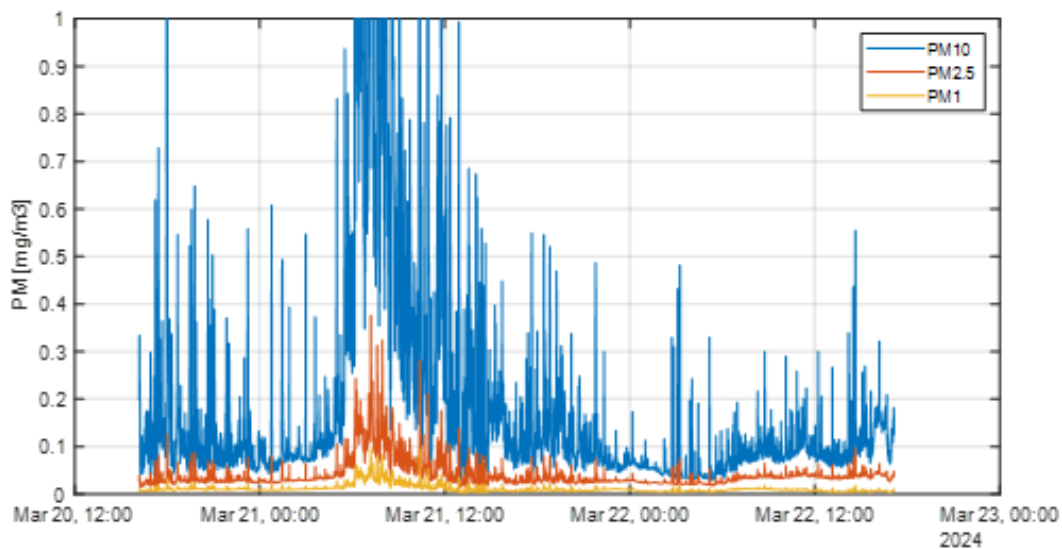
#### A.24 Partikelstorleksfördelning luftpartiklar uppmätta i oktober på aluminiumfilm

Bilaga A.24 visar på partikelstorleksfördelningen av de puftpartiklar som samlades in med ELPI+. Mätningen i oktober gjordes 2023-10-11 till 2023-11-16 (onsdag till måndag). Uppsamlingen var på aluminiumfilm.



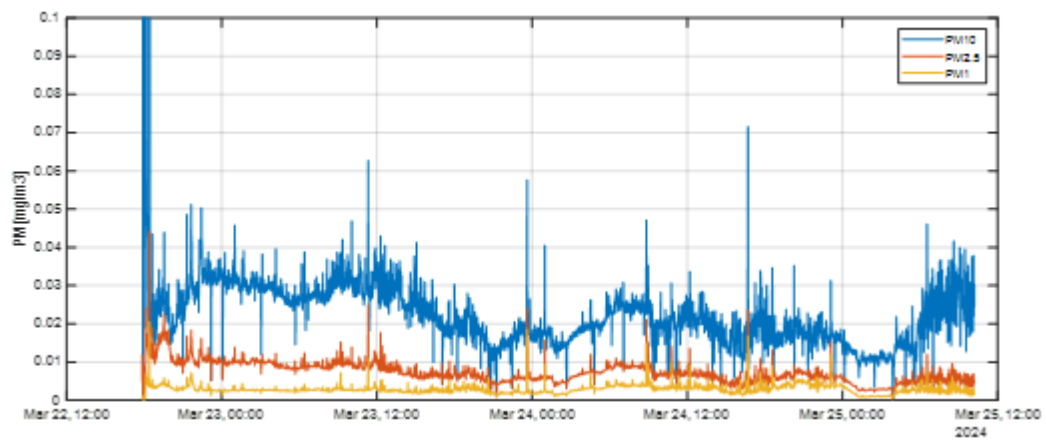
#### A.25 Partikelstorleksfördelning luftpartiklar uppmätta i mars på polykarbonatfilm.

Bilaga A.25 visar på partikelstorleksfördelningen av de puftpartiklar som samlades in med ELPI+. Mätning skedde 2024-03-20 till 2024-03-22 (onsdag till fredag). Uppsamlingen var på polykarbonatfilm.



## A.26 Partikelstorleksfördelning luftpartiklar uppmätta i mars på aluminiumfilm.

Bilaga A. 26 visar på partikelstorleksfördelningen av de luftpartiklar som samlades in med ELPI+, 2024-03-23 till 2024-03-24 (fredag till måndag). Uppsamlingen var på aluminiumfilm.



INSTITUTIONEN FÖR KEMITEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**