

Luft & miljö



Om luftmiljö
och svensk
luftövervakning
2023

Tema:
Partiklar

UTGIVEN AV NATURVÅRDSVERKET

Arbetsgrupp vid Naturvårdsverket: Helena Sabelström (projektledare) samt Pelle Boberg, Hilma Engholm, Johan Genberg Safont, Henrik Larsson och Siiri Latvala.

Redaktör: Kristin Djerf, Make Your Mark.

Grafisk produktion: Petra Wikström, Kollijox AB.

Omslagsfoto: Getty Images.

Skriften har tagits fram genom anslag från den nationella miljövakningen, Naturvårdsverket.

ISBN 978-91-620-1308-0. © Naturvårdsverket 2023.

Tryck: Arkitektkopia, 2023

Beställningar: tel: +46 8 505 933 40, e-post: natur@cm.se, www.naturvardsverket.se/publikationer

Innehåll

Förord.....	5
Vad är partiklar och hur påverkar de oss?.....	6
Regelverk och partikelövervakning i Sverige	12
Mätningar av partiklar – nu och då	16
Ultrafina partiklar – syns inte men finns överallt.....	22
Black Carbon – luftens svarta får.....	28
Små partiklar men stora hälsoproblem.....	36
Toxikologi – ett sätt att förstå partiklar.....	42
Trafiken – ett miljöproblem som rullar på	48
Småskalig vedeldning – mysigt, men inte för alla	54
Mer biobränsle i fjärrvärmesystemen – bara bra eller finns det målkonflikter?.....	58
Partiklar förstör och smutsar ner.....	62
Långväga transport av partiklar – spridningsmodellering ökar förståelsen	68
Partiklar i luften påverkar vårt klimat.....	76
Spridningsmodeller allt viktigare när antalet skogsbränder ökar	82
Hur kan modellering förbättra luftkvaliteten i svenska tätorter?	88
Drömmen om det partikelfria samhället	94



Förord

Luftföroreningar är en av de största miljöriskerna för människors hälsa – och partiklar, som bland annat kommer från förbränning och vägslitage, är den luftförorening som har störst negativa effekter. Partiklar finns i all luft vi andas, i olika storlekar, former och sammansättningar, och de kan påverka människors hälsa oavsett hur höga eller låga halterna är. Att partiklar, rök och sot, är farligt har varit välkänt länge, men vad vet vi om nya typer av partiklar, eller när källorna ändras?

Genom forskningen kan vi bättre förstå vilka faktorer som gör partiklarna farliga och vad vi behöver göra för att förhindra hälsoeffekter. Forskningen om partiklar är därför nödvändig, och varje år förmedlar den ytterligare kunskap kring effekter på hälsan, miljön och klimatet. Men det är helt avgörande att politik och förvaltning omsätter forskningsresultaten i handling och ser till att vi får ett så ambitiöst regelverk och genomförande som möjligt, där kraftfulla förbättringar är i fokus.

Partiklar övervakas inom den nationella miljöövervakningen av Naturvårdsverket och lokalt av kommunerna. Att följa utvecklingen i halter över tid och att känna till källorna till partiklarna är avgörande för att kunna dimensionera åtgärder och att rikta dem åt rätt håll. Det finns stora samhällsekonomiska vinster att hämta i ett samhälle med färre partiklar.

Den här skriften ingår i Naturvårdsverkets temaserie Luft & miljö inom den nationella miljöövervakningen. Bland rapportens författare finns utförare inom den nationella luftövervakningen samt forskare och handläggare vid universitet, forskningsinstitut och myndigheter. Det finns stora kunskaper om partiklar, och målet med skriften är att förmedla en del av dessa för att vi tillsammans ska kunna ta ett steg mot en renare luft.

Stockholm 2023-03-07

Stefan Nyström

Chef för Klimatavdelningen, Naturvårdsverket

Vad är partiklar och hur påverkar de oss?

Luftburna partiklar påverkar människors hälsa, klimatet och miljön. Även om halterna av partiklar i Sverige har minskat avsevärt under de senaste årtiondena återstår mycket arbete för att säkerställa så minimala hälsoeffekter som möjligt. En svårighet är att partiklarna kan ha väldigt olika sammansättning och storlek, vilket har stor betydelse för deras effekter på klimat och hälsa.

Luftburna partiklar är – som namnet antyder – så små att de kan hålla sig svävande i luft. En mer vetenskaplig benämning på luftburna partiklar är aerosoler, vilket innefattar både fasta och flytande partiklar och den blandning av gaser som håller partiklar svävande. För att kunna hålla sig luftburna krävs att partiklarna har en storlek som är mindre än cirka 100 mikrometer (en tiondels millimeter). Är partiklarna större än så faller de snabbt till marken och kan i regel inte förflytta sig längre sträckor. Den nedre gränsen för partiklars storlek brukar sättas runt 1 nanometer (en miljondels millimeter). Är partiklarna mindre än så kan man inte tydligt skilja dem från gasmolekyler.

Stora skillnader i storlek och sammansättning

Det skiljer så mycket som fem storleksordningar mellan den minsta och den största aerosolpartikeln. Det är som att jämföra ett knappåls-huvud och Globen i Stockholm! Skillnaden i massa (vikt) är ännu större, hela 15 storleksordningar. Med det i åtanke är det inte märkligt att luftens partiklar har vitt åtskilda källor, egenskaper, kemisk sammansättning, uppehållstid i atmosfären och effekter på klimat, miljö och människors hälsa.

Figur 1.
Storleksjämförelse av partiklar

Om partiklarna var cirka 30 000 gånger större.




Grovt sockerkorn
Ultrafina partiklar: $<0,1 \mu\text{m}$



Golfboll
Fina partiklar: $\text{PM}_{2,5}$



Fotboll
Grova partiklar: PM_{10}



Luftburna partiklar skiljer sig därmed markant från de spårgaser och växthusgaser som påverkar vår luftkvalitet och klimatet. Medan varje molekyl av exempelvis växthusgasen koldioxid är den andra lik så finns det inte två partiklar som är identiskt lika. Detta gör det svårare att bedöma de luftburna partiklarnas inverkan på människors hälsa och klimat.

Grova och fina partiklar

I de allra flesta fall brukar man begränsa sig till att studera de luftburna partiklar som har en diameter som är mindre än 10 mikrometer (en hundraedels millimeter). Anledningen till detta är att partiklarna måste vara mindre än så för att kunna tränga ner i våra nedre luftvägar och orsaka hälsoeffekter. Under denna storlek återfinns i princip samtliga partiklar till antalet och den absolut största andelen av den totala partikelmassan.

Partikelmått

PM₁₀ och PM_{2,5} är två mycket vanliga mått på partikelhalterna. De miljö-kvalitetsnormer som finns för PM₁₀ och PM_{2,5} i utomhusluft avser att skydda befolkningen från – för samhället – oacceptabla hälsoeffekter.

PM₁₀ anger massan av partiklar i en viss volym luft (oftast i $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mikrogram per kubikmeter luft) av alla partiklar med en diameter mindre än 10 mikrometer (μm), alltså de partikelstorlekar som kan tränga ner i våra nedre luftvägar.

PM_{2,5} anger massan av alla partiklar som är mindre än 2,5 mikrometer. Redan på 1990-talet kunde man påvisa att sambanden mellan partiklar och hälsa var ännu starkare om man använde sig av måttet PM_{2,5}. Att det blev just 2,5 mikrometer är en slump som beror på brister i den mätteknik som fanns tillgänglig när mätningarna påbörjades.

Måtten PM₁ eller PM_{0,1}, med övre storleksgränser på 1 respektive 0,1 mikrometer, används ibland. Tidigare användes även måttet TSP (Total Suspended Particle mass) som omfattar alla partikelstorlekar.

Nanopartiklar och ultrafina partiklar (UFP) är inte lika väldefinierade mått men brukar användas för partiklar med storlekar under 100 nanometer i diameter ner till ett fåtal nanometer.

Sothalterna uttrycks på många sätt, bland annat som BC (Black Carbon), EC (Elemental Carbon) eller tidigare även BS (Black Smoke), beroende på vilken mätmetod som används. OC (Organic Carbon) utgörs av kolet i alla organiska (kolinnehållande) föreningar som inte är sot.

Man delar ofta in partiklarnas storlek i två intervall (så kallade moder eller fraktioner):

- finfraktion (upp till cirka 1–2,5 mikrometer)
- grovfraktion (från 1–2,5 mikrometer till 10 mikrometer).

Luftens partiklar fördelar sig i enlighet med dessa två intervall eftersom de har helt olika källor. Partiklar i grovfraktionen härrör från mekaniska processer (till exempel erosion och havsspray), där ett bulkmaterial bryts upp i mindre bitar som kan bli luftburna partiklar. Partiklarna i finfraktionen bildas i stället från mindre beståndsdelar, i regel gasmolekyler.

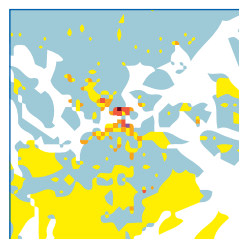
Olika sätt att mäta partiklar

Det finns flera olika sätt att ange hur mycket partiklar det finns i luften, helt beroende på syftet och hur mätningen har gjorts. Vanligtvis används ett mått som anger antingen partiklarnas antal, massa eller kemiska sammansättning. Ibland kan även partiklarnas samlade yta vara av intresse. Lite förenklat kan man säga att studier som rör människors hälsa har ett fokus på partiklarnas massa och kemiska sammansättning, medan studier om partiklarnas effekt på klimatet har mer fokus på antalet partiklar och partiklarnas storlek.

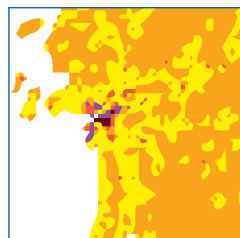
Figur 2. Halter av PM_{2,5} i Sverige

Årsmedelhalter av PM_{2,5} i Sverige 2019, enhet µg/m³.

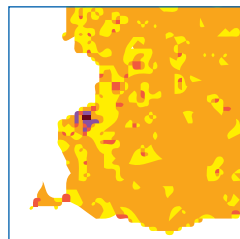
Källa: IVL Svenska Miljöinstitutet.



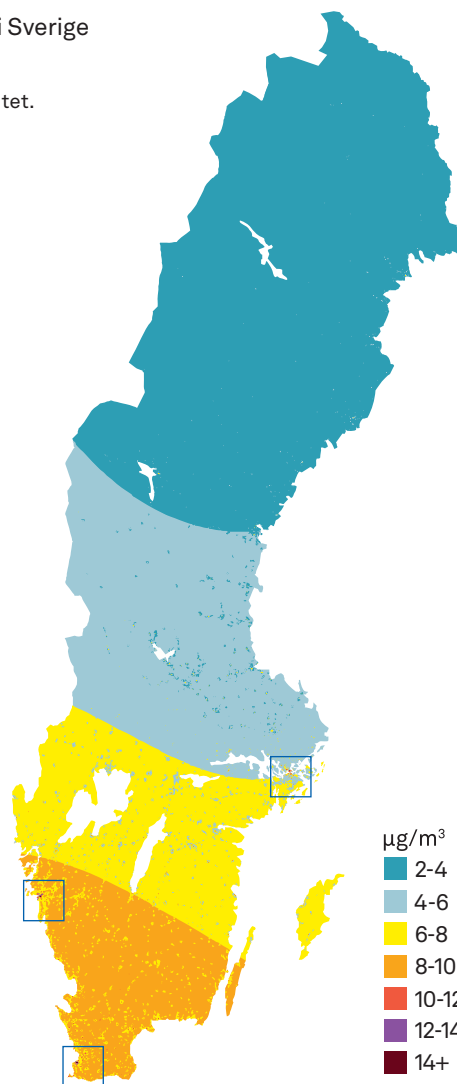
Stockholm



Göteborg



Malmö



Lägst halter i norra Sverige

Årsmedelhalterna av partiklar i landsbygdsluft är lägre än miljö kvalitetsmålet både för PM₁₀ och PM_{2,5}. Hålnivåerna avtar norrut över landet, beroende på att södra Sverige dels ligger betydligt närmare stora utsläppskällor på kontinenten, dels har högre befolkningstäthet och därmed högre utsläppsnivåer.



Foto: iStock

Vedeldning ger ökade partikelhalter i luften.

Partiklar från olika källor påverkar halterna

Omkring 90 procent av alla partiklar i atmosfären har skapats genom naturens egna processer. Några av de viktigaste naturliga källorna är havssalt, erosion, sandstormar, gräs- och skogsbränder, vulkanutbrott och pollen. Partiklar kan även bildas sekundärt i luften från gaser, genom kemiska och fysikaliska processer.

De resterande 10 procenten av partiklarna i luften uppstår genom mänsklig verksamhet, och utsläppen kan på en del platser i världen vara mycket stora. I södra Sverige har närheten till kontinenten stor betydelse. Olika fossila förbränningskällor i andra länder, såsom koleldning, bilavgaser och sjöfart, ger höga halter i Sverige genom långdistanstransport av luftföroreningar med vinden. Detta ligger till exempel bakom cirka 60 procent av de $PM_{2,5}$ -halter som den genomsnittliga stadsbon i Malmö exponeras för.

I norra Sverige ligger däremot bidraget från långdistanstransport på nära förindustriell nivå. Här är det i stället lokal trafik och vedeldning som utgör den största hälsorisen. Gamla vedpannor för uppvärmning av enskilda hushåll ger höga utsläpp i bostadsområden, och i dalar med dålig luftomblandning kan halterna av antalet partiklar eller masshalten $PM_{2,5}$ bli särskilt höga. I alla större svenska städer bidrar biltrafikens avgaser till höga halter av antalet små partiklar. Dessa kan uppgå till 20 000–30 000 partiklar per kubikcentimeter luft (storleken av en sockerbit ungefär).

I Sverige har även användandet av dubbdäck stor betydelse när det gäller luftkvaliteten. I orter med hög andel dubbdäck kan halterna av grova partiklar (PM_{10}) bli mycket höga på värytan när vägytan torkar och partiklarna virvlar upp efter vinterns nötande av asfalten från dubbdäcken. På byggarbetsplatser och på sandiga, torra och kala



Dammande åkerfält i Skåne en torr dag i april 2019.

åkermarker kan även damning orsaka höga halter av PM₁₀. Vid vissa tillfällen kan även sand från Sahara transporteras med vinden ända till Sverige.

Möjligheter att åtgärda höga partikelhalter

Tre fjärdedelar av befolkningen i Europa bor i städer, där vägtransport ofta är den främsta källan till luftföroreningar. På landsbygden är uppvärmning av hushåll med ved och kol vanligtvis den viktigaste källan till skadliga föroreningar. Stora investeringar i tung industri och energisektorn för bättre luftkvalitet har gjort att ytterligare förbättringar av luftkvaliteten ändrat huvudfokus till transportsektorn. EU:s nuvarande utsläppsstandard för fordon, Euro 6, tillåter en tiondels utsläpp av partiklar jämfört med Euro 3 som infördes för 20 år sedan.

För att fortsätta den positiva trenden med minskande partikelhalter behövs dock ett bredare mått av åtgärder och ett mer aktivt engagemang från samhället och enskilda medborgare. Dessa inkluderar till exempel från samhällets sida utökad fjärrvärme, främjande av kollektivtrafik, sänkta hastighetsgränser och byte till renare fordon, bussar och spårvagnar, speciellt i stora städer. På medborgarnivå kan förbättringar uppnås genom att exempelvis använda friktionsdäck i stället för dubbdäck och att minska användningen av kaminer och vedpannor, eller att använda modern eldningsutrustning och elda på ett sätt som ger upphov till så låga utsläpp som möjligt.

Transport- och energisektorn utgör en stor källa till partiklar, men även jordbruket har en roll i och med att den ammoniak som uppstår i samband med gödselhantering bidrar till bildandet av sekundära partiklar. Av de europeiska partiklar



Dubbdäck nöter på asfalten. På våren virvlar partiklarna upp i luften och ger upphov till höga PM₁₀-halter.

som har bildats genom gas- till partikelomvandling har 95 procent sitt ursprung i jordbruket. För att rikta in sig på denna källa till partikelformiga luftföroreningar kommer det att krävas omfattande åtgärder inom jordbrukssektorn.

Text & kontakt:

Karin Sjöberg, IVL Svenska Miljöinstitutet
karin.sjoberg@ivl.se

Karin Söderlund, IVL Svenska Miljöinstitutet
karin.soderlund@ivl.se

Erik Swietlicki, Lunds universitet
erik.swietlicki@nuclear.lu.se

Adam Kristensson, Lunds universitet
adam.kristensson@nuclear.lu.se

Radovan Krejci, Stockholms universitet
radovan.krejci@aces.su.se

Lästips

Luft startside (naturvardsverket.se)

Quantification of population exposure to NO₂, PM₁₀ and PM_{2,5}, and estimated health impacts 2019. IVL B2446 (diva-portal.org)

Nationell övervakning av partiklar i luft (naturvardsverket.se)

Luftkvaliteten i realtid och preliminär statistik (naturvardsverket.se)

Europe's air quality status 2022 – European Environment Agency (europa.eu)

Regelverk och partikel- övervakning i Sverige

Luftkvaliteten påverkas både av vad vi gör på hemmaplan och vad som händer hundratals mil bort eftersom luftföroreningar färdas med vinden och inte tar hänsyn till administrativa gränser. Genom ambitiös lagstiftning och gemensamma internationella överenskommelser har vi möjlighet att skapa god luftkvalitet. Tillgången på luftkvalitetsdata är viktig för många.


I Sverige har övervakning av partiklar genomförts i sex decennier, från början i form av sot, men under de senaste 20 åren främst som PM₁₀ och PM_{2,5}, i takt med att regelverket förändrats. Det finns i dagsläget cirka 70 mätstationer med partikelmätningar, av dessa återfinns det stora flertalet i tätortsmiljö eftersom partiklar främst är ett trafikrelaterat problem.

Övervakningen är grunden

Övervakningen av partiklar i Sverige drivs framför allt av EU:s krav på Sverige genom luftkvalitetsdirektivet och Sveriges åtagande gentemot luftvårdskonventionen, men även genom det nationella miljömålet Frisk luft och universitetens forskningsverksamhet.

Partikeldata
rapporterades från
75 stationer i Sverige för
år 2021.

Partikelmätningar har
genomförts någon gång
i **170 kommuner**.

- 
- Trafik/gaturum
 - Urban bakgrund
 - Regional bakgrund

Mätstationer i Sverige 2021

Partiklar mäts främst i urbana miljöer, men det är även viktigt att kartlägga bidraget från långväga transporter.



Fyra större mätstationer

Den nationella partikelövervakningen i Sverige bedrivs vid fyra stora mätstationer i regional bakgrund inom ramen för Naturvårdsverkets delprogram Partiklar i luft i Programområde Luft i nationella miljöövervakningen (på bilden Norunda i Uppland). Här mäts PM_{10} , $PM_{2,5}$ och elementärt och organiskt kol (OC/EC i $PM_{2,5}$). På två av stationerna mäts även sot, ljusabsorption, partikelstorleksfördelning och ljusspridning.



Mätningarna görs framför allt i den mest belastade gaturumsmiljön, men det är viktigt att även övervaka den allmänna exponeringen i tätorterna.

Tabell 1. Miljö kvalitetsnormerna, miljömålen och WHO:s riktvärden

Förorening	PM ₁₀		PM _{2,5}	
	Dygn	År	Dygn	År
Luftkvalitetsförordning 2010:477 – Miljö kvalitetsnormer (MKN)	50 µg/m ³ Får överskridas 35 ggr/år	40 µg/m ³	–	25 µg/m ³ samt exponeringsminskningsmål
Luftkvalitetsdirektivet 2008/50/EG – Gränsvärden	50 µg/m ³ Får överskridas 35 ggr/år	40 µg/m ³	–	25 µg/m ³ samt exponeringsminskningsmål
Miljömålet Frisk luft – Preciseringar	30 µg/m ³ Får överskridas 35 ggr/år	15 µg/m ³	25 µg/m ³ Får överskridas 3 ggr/år	10 µg/m ³
WHO – Riktvärden 2021	45 µg/m ³ Får överskridas 3–4 ggr/år	15 µg/m ³	15 µg/m ³ Får överskridas 3–4 ggr/år	5 µg/m ³

Kommunerna har huvudansvaret för kontrollen av miljö kvalitetsnormerna för PM₁₀ och PM_{2,5}, dvs. direktivets gränsvärden, och genomför den i tätortsmiljö där halterna är som högst. En del kommuner genomför även modellberäkningar av partikelhalterna som ett komplement till mätningarna. Naturvårdsverket kompletterar med olika partikelmätningar i regional bakgrund, dvs. landsbygds miljö, och urban bakgrund inom ramen för den nationella miljöövervakningen (Programområde Luft). Alla data, lokala och nationella, rapporteras året efter till Naturvårdsverkets datavärd för luftkvalitet och tillgängliggörs publikt.

På universitetsnivå bedrivs inom ramen för internationella forskningsnätverk avancerade mätningar av olika partikelparametrar på stationer i regional bakgrund, ett exempel på detta är ACTRIS. Forskningen bidrar till att öka förståelsen kring partiklars egenskaper och hjälper oss att följa partiklarna till källan och vidta rätt åtgärder. Resultaten från partikelövervakningen i landet utgör även grund för den forskning som bedrivs kring hälsoeffekter.

Tillgång till data

En central del av övervakningen är hanteringen av data. Alla nationella och kommunala mätresultat rapporteras årligen till EU och luftvårds konventionen och används till internationella sammanställningar och analyser. På nationell nivå är det viktigt att hålla data lättillgängliga inom ramen för datavärdskapet så att de kan användas för utvärdering av miljö tillstånd och åtgärdsarbete. För människor som bor i tätortsmiljö är det särskilt viktigt att ha tillgång till aktuell information om luftkvaliteten. Tillgängliggörandet av data är ett utvecklingsområde som är viktigt att prioritera.

Från forskning till lagstiftning – och effekt

Partiklar påverkar hälsan oavsett föroreningsnivå, och det är därför viktigt att kontinuerligt sträva mot lägre halter för att minimera hälsoeffekterna så långt som möjligt. Lagstiftningen är ett viktigt verktyg för att driva utvecklingen i en positiv riktning, och luftkvaliteten är beroende av ett ambitiöst regelverk som baseras på nya forskningsresultat. WHO lanserade i september 2021 nya riktlinjer för luftkvalitet, däribland skärpta riktvärden för PM₁₀ och PM_{2,5} samt rekommendationer gällande ultrafina partiklar och sot. Omfattande hälsostudier ligger bakom de nya riktlinjerna och det är avgörande att det förvaltas vidare, inte minst inom EU där revideringen av luftkvalitetsdirektivet nu pågår. Här finns stora möjligheter att lägga grunden för lägre partikelhalter i Europa.

Text & kontakt:

Projektgruppen Luft & miljö, Naturvårdsverket

Lästips

Nationell övervakning av partiklar i luft (naturvardsverket.se)

Nationell luftövervakning, IVL C 584 (diva-portal.org)

Naturvårdsverkets information om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft (naturvardsverket.se)

Luften i Sverige – diagram med luftkvalitetsdata i tätort och landsbygds miljö (naturvardsverket.se)

Naturvårdsverkets datavärd för luftkvalitet (smhi.se)

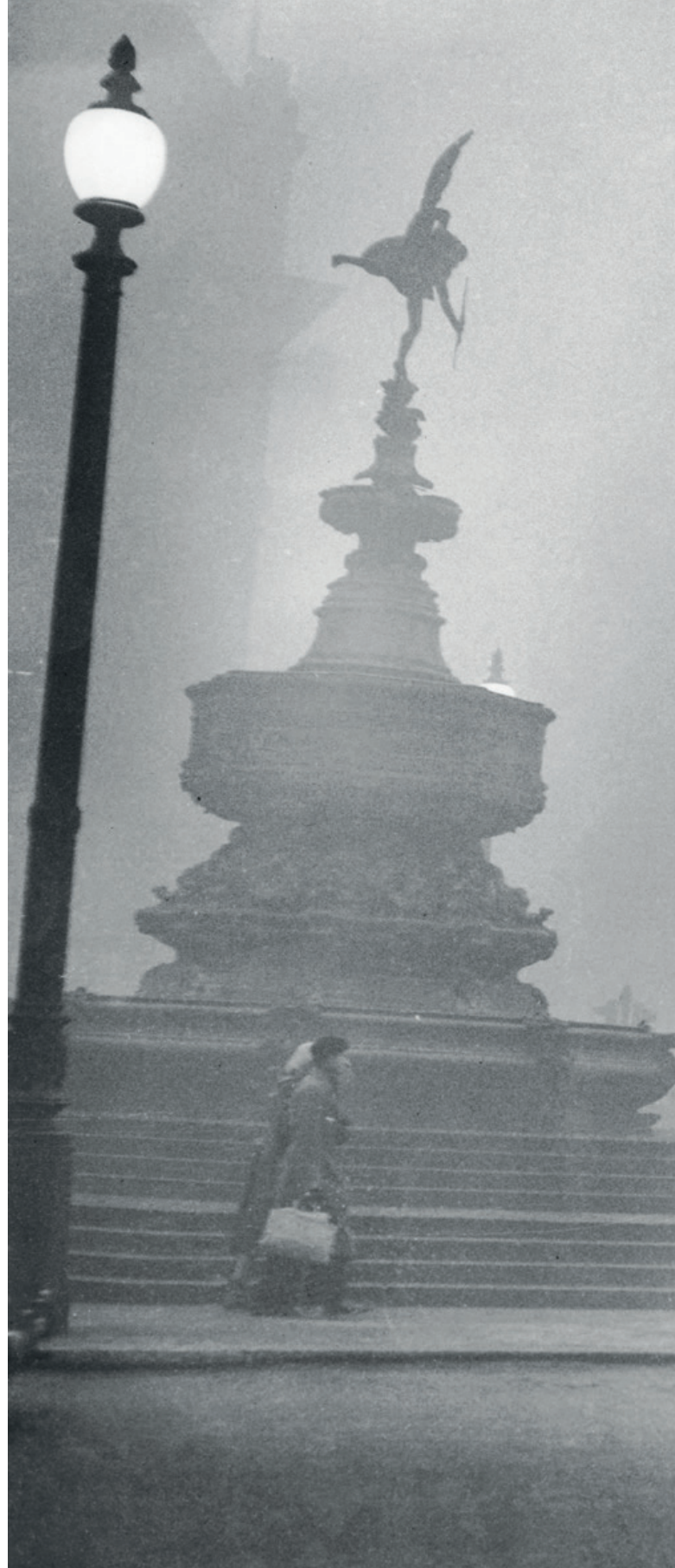
Swedish national research infrastructure – ACTRIS Sweden (actris.se)

Mätningar av partiklar – nu och då

Utsläpp av partiklar från energiproduktion – speciellt den kolbaserade – har sedan lång tid tillbaka skapat problem med lukt, rök och nedsmutsning. Industrialiseringen under 1800-talet medförde en betydande ökning av kolförbrukningen och därmed även ökade utsläpp. När man i slutet av 1960-talet kunde konstatera att luftföroreningar var ett storregionalt problem påbörjades en internationell samverkan kring såväl mätningar som åtgärdsarbete.

De första luftkvalitetsmätningarna i en svensk tätort utfördes i Göteborg redan i slutet av 1950-talet. Det fanns skäl att utifrån erfarenheterna i London (se faktaruta) förmoda att även luften i ”Lilla London” kunde ha betydande hälsopåverkan, då det även här fanns tecken på en omfattande smogbildning.

Vid mätningarna uppdagades att de besvärligaste förhållandena uppstod vid tillfällena med dålig omblandning, kall väderlek, dimma och låga vindhastigheter. Vid utvärderingen av resultaten kunde långdistanstransport av föroreningar påvisas. Många av de tankar man hade då har varit grundläggande för utformningen av dagens strategier för övervakning.



Smogen i London 1952

Redan på 1600-talet uppmärksammades i Storbritannien problem och obehag med koleldning, men det ansågs då vara en oundviklig konsekvens av den urbana utvecklingen. Mätningar av halter av föroreningar blev inte aktuella förrän en bit in på 1900-talet. I december 1952 välldes en tjock dimma in över London. Den blandades med den svarta röken i staden och den värsta smog-episoden någonsin i London var ett faktum. Senare forskning har uppskattat att omkring 12 000 människor dog under tiden närmast därefter. Denna katastrof satte fokus på problemen med utsläpp till luften av bland annat sot och blev startskottet för luftmätningar i Europa. Ännu i dag är luftföroreningars hälsoeffekter en aktuell fråga, och vi har även i stora delar av Sverige svårt att uppnå Världshälsoorganisationen WHO:s senaste riktvärden för PM_{2,5}.



Trender sedan mätningarna startade

Minskade utsläpp från industrier och energiproduktion till följd av ökade miljökrav, såväl i Sverige som i Europa, har generellt lett till en kraftig sänkning av föroreningshalten i utomhusluften under de senaste decennierna.

Halten av sot i luften i centrala Göteborg minskade med över 80 procent från början av 1960-talet till början av 1990-talet. En motsvarande trend kan ses över hela landet, i såväl tätorter som på landsbygden. Mätningar i tätorterna skedde till en början främst i urban bakgrundsluft (till exempel parker och torg) under vinterhalvåret. I början av 2000-talet ersattes i stor utsträckning

övervakningen av sot med partikelfraktionerna PM_{10} . I samband med att miljö kvalitetsnormen för PM_{10} skulle vara uppfylld, den 1 januari 2005, började fler kommuner mäta PM_{10} , då främst i gaturum och under hela kalenderår, i enlighet med i kraven i luftkvalitetsförordningen.

Partikelhalterna minskar – men överskrider fortfarande miljö kvalitetsnormer och miljömål

Man kan se en långsiktig minskning av partikelhalterna i flertalet av de tätorter som har mätt under flera år. De längsta mätserierna för PM_{10} i tätorts-

miljö finns i Stockholm, Göteborg och Malmö, och där visar halterna på en tydlig minskning under de två-tre decennier som mätningarna pågått. Mellanårsvariationen kan dock vara ganska stor, och fortfarande överskrider miljö kvalitetsnormen för dygn och miljö kvalitetsmålet varje år i ett antal tätorter i landet. I landsbygdsluft har en tydligt minskande trend observerats vid Aspvreten, Södermanland, den station där bakgrundsmätningar av PM_{10} bedrivits under längst period.

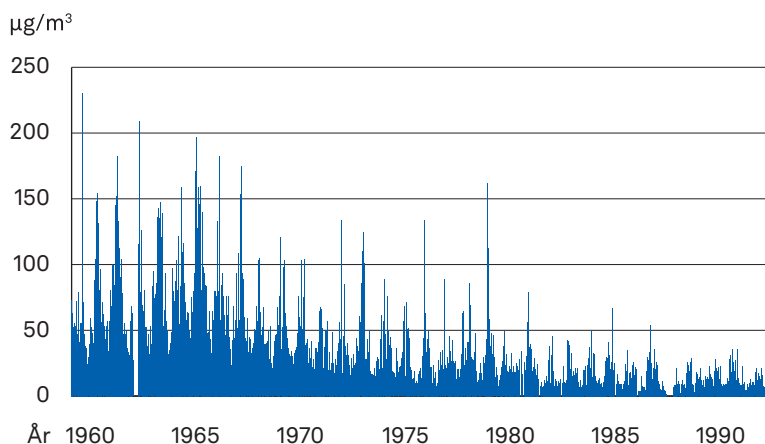
För $PM_{2,5}$ är antalet mätstationer relativt få, vilket beror på generellt låga halter och därmed få krav på mätningar. De längsta mätserierna finns i Stockholm, Göteborg, Malmö och Umeå, och dessa uppvisar en svagt minskande trend. Miljö kvalitetsmålet underskrids oftast även i de mest belastade miljöerna. Även på landsbygd ses en tendens till minskade halter sedan början av 2000-talet.

Ändrat fokus på partiklars ursprung och betydelse

Under de senaste decennierna har halterna av partiklar minskat avsevärt i större delen av Europa, inklusive Skandinavien. Detta har framför allt uppnåtts tack vare den implementering av modern teknik inom industri, transport

Figur 1. Sothalter i Göteborg 1960–1993

I de centrala delarna av Göteborg uppmättes under 1960 några dygn med sothalter på över $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Källa: Naturvårdsverkets datavärd för luftkvalitet.

och energi som varit nödvändig till följd av kraftigt skärpta utsläppskrav. För PM_{2,5} finns dock stora utmaningar kvar när det gäller utsläpp från bostäder och andra lokaler, framför allt på europeisk nivå. När det gäller PM₁₀ utgör slitage av vägar, däck och bromsar en dominerande

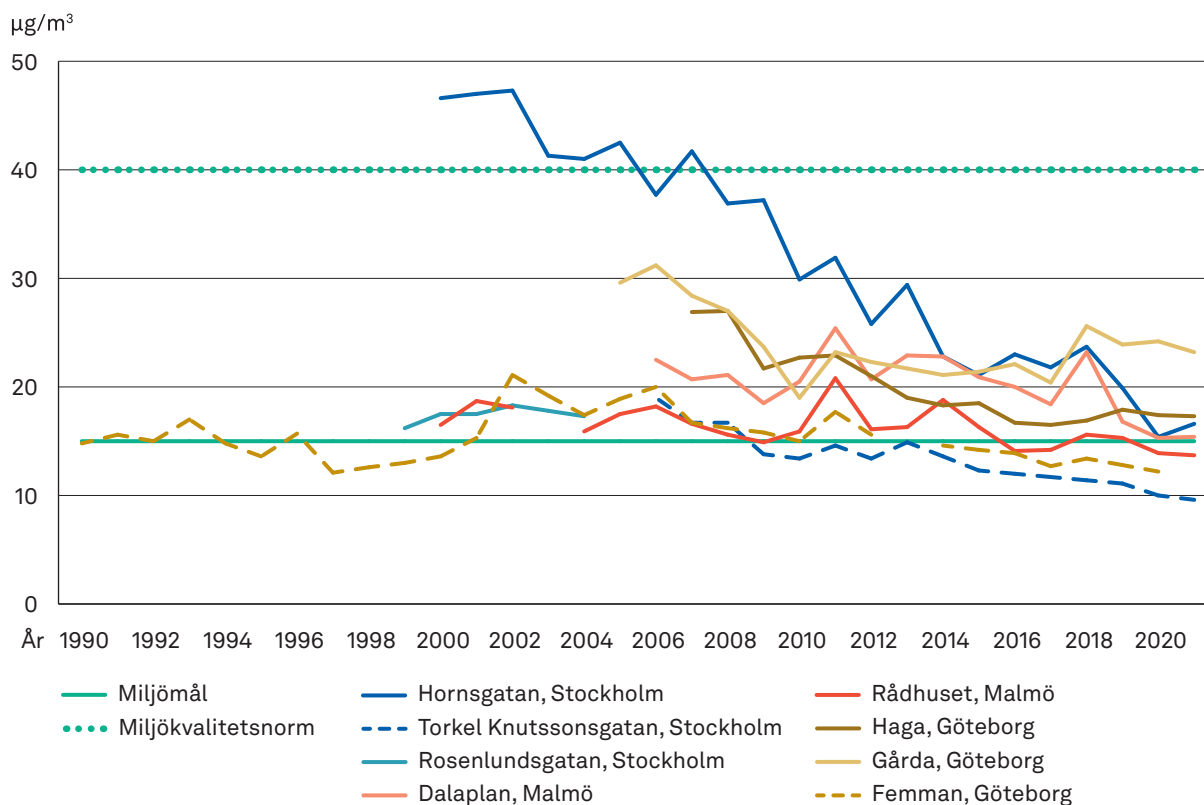
källa i Sverige, medan utsläppen på europeisk nivå även för PM₁₀ främst kan härledas till bostäder och andra lokaler.

Med de låga halter av PM_{2,5} som i dag finns på landsbygden i Skandinavien ökar betydelsen av naturliga aerosolkällor och processer. Det naturliga eko-

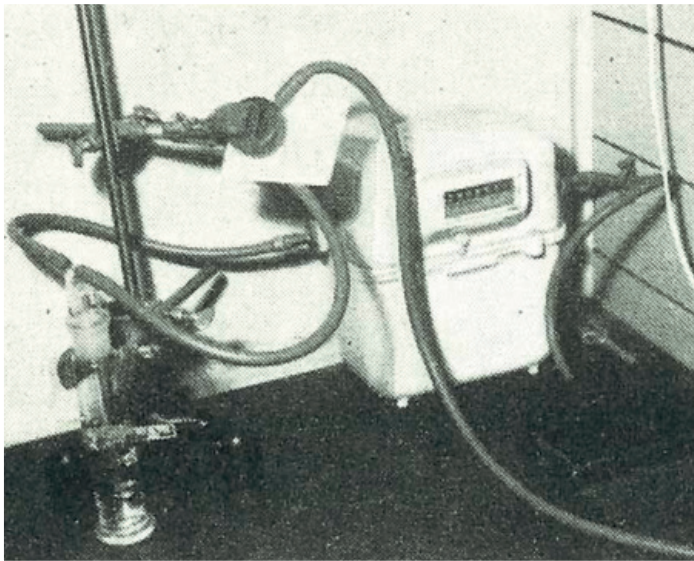
systemet i Sverige domineras av skog, och storleken på skogarna (kubikmeter träbiomassa) har fördubblats under de senaste hundra åren. Skog är en viktig naturlig partikelkälla, eftersom träd avger organiska föreningar (VOC) som genom kemisk omvandling i atmosfären

Figur 2. PM₁₀ årsmedel i gaturum och urban bakgrund 1990–2021, mikrogram per kubikmeter

Haltutveckling av PM₁₀ i Göteborg i urban bakgrund och i gaturum (mätstation Femman respektive mätstationerna Haga och Gårda), Stockholm i urban bakgrund (mätstation Rosenlundsgatan/Torkel Knutssongatan) och i gaturum (mätstation Hornsgatan) samt Malmö i urban bakgrund (mätstation Rådhuset) och i gaturum (mätstation Dalaplan).



Källa: Naturvårdsverkets datavärd för luftkvalitet.



Mätmetodernas utveckling

På 1960- och 1970-talen mättes partiklar i Sverige främst genom reflektansmätning av den svärtning som avskilda partiklar åstadkom på ett vitt pappersfilter. Metoden ger ett grovt mått på förekomsten av svarta partiklar (sot, <math>< 3-5 \text{ mikrometer}</math>).

Principen för dagens referensmetod för att övervaka partikelhalter enligt EU:s luftkvalitetsdirektiv baseras på samma provtagningsidé. Luften sugs in genom ett speciellt utformat inlopp, där partiklar med en specifik storlek avskiljs (till exempel $\text{PM}_{2,5}$ eller PM_{10}). Partiklarnas massa bestäms genom att filtret vägs före och efter provtagning.

De vanligaste kontinuerliga mätmetoderna inom svensk miljöövervakning i dag är timvis registrering av partikelhalter, som använder ljus för att räkna och storleksbestämma partiklarna. Instrumenten räknar därefter om dessa mätdata till masskoncentrationer för till exempel PM_{10} och $\text{PM}_{2,5}$. Dessa instrument har bedömts som likvärdiga med referensmetoden.



kan bilda partiklar. Vid framtida klimatförändringar, och med den temperaturökning som förväntas, kommer utsläppen av VOC och relaterade halter av partiklar att öka. Denna effekt förstärks av en ökad risk för skogsbränder, som förväntas bli vanligare och mer intensiva i ett varmare klimat.

Partiklar i stadsmiljö har gått från att vara ett synbart och påtagligt hälsohot till att inte längre synas. Hälsoriskerna finns emellertid kvar och blir allt tydligare ju mer forskning som bedrivs på området. Även inom klimatforskningen har partiklar med tiden fått en central betydelse, eftersom deras komplexa roll i klimatsystemet ännu inte är helt förstådd och de representerar en av de största osäkerheterna i vår förmåga att förutsäga framtidens klimat.

Vilka partikelmätningar kommer vi att se framöver?

Eftersom partikelhalterna har minskat under de senaste åren har även de formella kraven på kontroll minskat. I takt med att forskningen upptäcker alltmer effekter på hälsan även vid låga halter kommer det dock att behövas fortsatta mätningar. WHO uppdaterade i september 2021 sina riktlinjer för luftkvalitet, och de är nu betydligt striktare och mer omfattande när det gäller partiklar. Det är därför troligt att miljökvalitetsnormerna för luftkvalitet kommer att skärpas när EU:s reviderade luftkvalitetsdirektiv antas, och detta

kommer i sin tur att leda till fortsatta krav på partikelmätningar. Det är även troligt att fokus framöver kommer att vidgas mot andra partikelmått och källor, till exempel ultrafina partiklar och sot (BC), i samband med att forskningen ser effekter av allt mindre partiklar. Modellering av partikelhalter kommer sannolikt också få en ökad betydelse.

Mätmetoderna fortsätter att utvecklas

Partikelmätningar är kostsamma och det finns därför en begränsning i hur omfattande mätningar som kan göras och vem som har möjlighet att genomföra dem. I framtiden kommer vi dock troligtvis att kunna se en utveckling mot användandet av enklare och billigare sensorer för både gaser och partiklar. Sådana sensorer kan spridas över en stad för att få en bättre bild av hur halterna varierar i olika stadsmiljöer. Fortfarande återstår många frågetecken kring kvaliteten på de data som sensorerna producerar, men kanske kommer vi i framtiden att ha sensorer integrerade i våra mobiltelefoner och kunna få varningar om vi befinner oss i en luftföroreningsbelastad miljö. Känsliga personer som exempelvis astmatiker skulle då kunna förebygga ohälsa. Data från en mångfald mobila sensorer skulle även kunna överföras digitalt och jämföras i realtid med städernas spridningsmodeller. Ett sådant system skulle ge bättre insikt hos befolkningen om problematiken kring luftföroreningar och stärka den demokratiska insynen i luftvårdsfrågor.

Internationellt forskningssamarbete kring partikelmätning

Partiklar är ett storskaligt problem som berör både hälsa och klimat, och internationellt och långsiktigt samarbete är därför nödvändigt. Runtom i Europa bedrivs numera partikelmätningar på forsknings-

nivå inom ramen för ACTRIS (actris.eu), en europeisk infrastruktur för övervakning av partiklar, moln och spårgaser. Den svenska delen av infrastrukturen har för perioden 2022–2026 fått finansiering från Vetenskapsrådet, och ACTRIS-Sverige kommer att utveckla fem stationer för flera olika typer av partikelmätningar (till exempel partikelantal, storleksfördelning, ljusspridning och -absorption och kemisk sammansättning). Dessutom kommer mätningar göras av organiska gaser samt svavel- och kväveoxider. ACTRIS-Sverige kommer leda till att Sveriges miljöövervakning av partiklar i luft stärks och att mer data blir tillgängliga för modellerare, kommunala tjänstemän och allmänheten.

Text & kontakt:

Karin Sjöberg, IVL Svenska Miljöinstitutet
karin.sjoberg@ivl.se

Karin Söderlund, IVL Svenska Miljöinstitutet
karin.soderlund@ivl.se

Erik Swietlicki, Lunds universitet
erik.swietlicki@nuclear.lu.se

Adam Kristensson, Lunds universitet
adam.kristensson@nuclear.lu.se

Radovan Krejci, Stockholms universitet
radovan.krejci@aces.su.se

Lästips

Luft startsida (naturvardsverket.se)

Air quality in Europe 2022 (europa.eu)

Luftkvalitetsförordning (2010:477) (riksdagen.se)

Tillbakablick över luftkvalitetsmätningar i svenska tätorter, IVL B1574 (ivl.se)

Urbanmätnätet – 30 års mätningar av luftkvalitet, IVL C230 (ivl.se)



Ultrafina partiklar

– syns inte men finns överallt

De allra minsta partiklarna kallas ultrafina partiklar (UFP). De förekommer i störst antal och kan tränga djupast ner i lungorna innan de fastnar. De kan också fungera som bärare av toxiska ämnen och tränga in i blodomloppet. Den viktigaste källan till befolkningens exponering för ultrafina partiklar i städerna är bilarnas avgaser. Därför finns det krav på hur mycket nya bilar får släppa ut, men det finns ännu inga krav på hur höga halterna får vara i luften.

Till skillnad från partikeldefinitionerna PM_{10} och $PM_{2,5}$ finns det inte någon exakt definition av vilken storlek som avses med ultrafina partiklar, men ofta avser man partiklar som är mindre än 100 nanometer i diameter. Halten innefattar alltså även de minsta nanopartiklarna och redovisas som

totala antalet partiklar per kubikcentimeter ($1/cm^3$), till skillnad från PM_{10} och $PM_{2,5}$ som är totala massan (vikten) per kubikmeter.

Därför är ultrafina partiklar viktiga

Mätningarna av UFP sker med olika typer av partikelräknare (se faktaruta). Vissa partikelräknare kan räkna partiklar större än 2 nanometer, medan andra bara räknar de partiklar som är större än 7 nanometer eller 10 nanometer. Det kan låta som små skillnader när partiklarna bara skiljer några nanometer i storlek men det kan kraftigt påverka antalet partiklar som detekteras, speciellt då mätningen sker i trafikmiljö där det kan finnas riktigt många av de minsta partiklarna.

Eftersom de ultrafina partiklarna är så små utgör deras massa en mycket liten del av PM_{10} och $PM_{2,5}$. Men ur hälsosynpunkt kan de vara speciellt viktiga att mäta eftersom de minsta nanosmå



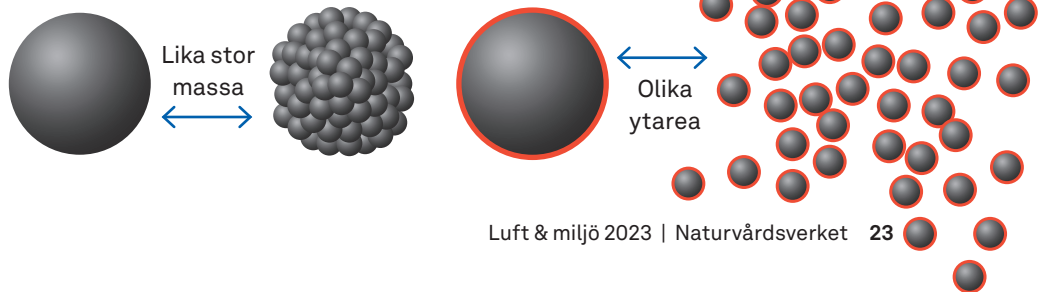
partiklarna har en stor (potentiellt reaktiv) yta i förhållande till sin massa (se figur 1) samt att de kan deponeras längre ner i lungorna (alveolerna), stanna längre i kroppen och till och med ta sig in i cellerna och blodomloppet. På detta sätt kan de, likt ”trojanska hästar”, transportera toxiska ämnen in i kroppen (till exempel polycykliska aromatiska kolväten, PAH).

Varifrån kommer ultrafina partiklar?

Största primära källan till UFP i städer är vägtrafiken. De bildas främst vid ofullständig förbränning och består till stor del av kolväten, sot och svavelföreningar. Äldre dieselfordon utan partikelfilter står för det största bidraget till UFP i städer. Det kan också bildas UFP i luften när avgaserna späds ut och kyls ner, så kallade sekundära partiklar.

Figur 1. Små partiklar ger tillsammans stor yta

Flera små partiklar som tillsammans bildar samma massa som en enskild partikel har större ytarea än den enskilda partikeln. Det innebär att de har en stor yta som kan reagera med sin omgivning.



Så mäts de minsta partiklarna

Antalet partiklar räknas mest tillförlitligt genom att leda partiklarna genom en laserstråle och detektera det ljus som sprids av varje enskild partikel. Den ljuspuls detta ger upphov till kan lätt räknas, partikel för partikel. För partiklar större än cirka 100–200 nanometer i diameter kan intensiteten på det spridda ljuset även ge ett ungefärligt mått på partikelns storlek. Dessa instrument benämns ofta optiska partikelräknare och används även för att mäta PM-halter. För de mindre, ultrafina partiklarna måste man först se till att partikeln växer i storlek innan den korsar laserstrålen. Detta görs genom att låta partiklarna bilda droppar med butanol, isopropanol eller vatten. Sådana instrument benämns ofta CPC (Condensation Particle Counter, kondensationspartikelräknare).

Storleksfördelningen av de minsta partiklarna mäts genom att partiklarna först sorteras efter storlek. Sedan räknas det ut hur många partiklar som återfinns i varje storleksintervall. Detta görs normalt genom att partiklarna laddas elektriskt och sedan länkas av i ett starkt elektriskt fält. Den diameter partiklarna sorteras efter kallas elektrisk mobilitetsdiameter. Sådana instrument kan ha olika namn: DMPS: Differential Mobility Particle Sizer, SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer, eller MPSS: Mobility Particle Size Spectrometer.

En annan källa från vägtrafik är mekaniskt slitage av till exempel bromsar och dubbdäck som kan bilda ultrafina partiklar bestående av metall och metall-oxider. Detta har påvisats i laboratoriemiljöer, men sannolikt har dessa utsläpp mycket liten betydelse för förekomsten av UFP i utomhusluften. I takt med att fordonsflottan elektrifieras ökar andelen från mekaniskt slitage, eftersom utsläppen från avgaser försvinner.

Andra källor är arbetsmaskiner och fartyg, braskaminer, villa-pannor, panncentraler och större energianläggningar. Generellt bidrar utsläpp från dessa källor inte lika mycket som vägtrafiken till befolkningens exponering. I villaområden med stor användning av ved och i hamnområden ökar dock betydelsen av dessa utsläpp.

WHO rekommenderar mätning av antalet partiklar

Eftersom det inte finns några gränsvärden för förekomsten av UFP i luften, finns det väldigt begränsat med mätningar av halterna i stadsluft. I WHO:s senaste globala riktlinjer för luftföroreningar från 2021 rekommenderas däremot mätningar av antalet partiklar. Vidare rekommenderas att skilja på låga och höga halter. Med låga

halter avses medelhalter under 24 timmar som är lägre än 1 000 partiklar per kubikcentimeter. Med höga halter avses halter över 10 000 per kubikcentimeter under 24 timmar eller 20 000 per kubikcentimeter i genomsnitt under en timme.

Regler för att begränsa utsläppen

Nya fordon som registreras eller tas i bruk inom EU ska uppfylla vissa krav vad gäller utsläpp, inklusive massan och antalet

partiklar i avgaserna. Regler för utsläpp av partikelmassa infördes redan 1992 för dieseldieselbilar (Euro 1). Reglerna för antal partiklar infördes först för dieseldieselbilar 2011 (Euro 5b) och några år senare även för bensindieselbilar med direktinsprutning (Euro 6) och tunga fordon samt arbetsmaskiner. Utsläppskraven avser endast partiklar med en diameter som är större än 23 nanometer.

Avgaserna rensas effektivt från partiklar med partikelfilter. Utsläppen är 10 000 gånger lägre



Foto: Adobe Stock

Vägtrafik är den största källan till utsläpp av ultrafina partiklar. Andra källor är till exempel arbetsmaskiner, fartyg och braskaminer.

med partikelfilter än utan. Gasformiga ämnen, till exempel flyktiga kolväten, som passerar filtren kan dock ge upphov till nybildning av nanopartiklar när avgaserna späds ut och kyls ner vid omblandningen med utomhusluften (se figur 2). I utomhusluften kan det finnas ett stort antal partiklar som är mindre än 23 nanometer, speciellt intill hårt trafikerade vägar.

UFP bildas i luften efter utsläppen

Figur 2 illustrerar de ultrafina partiklarnas hela livscykel, från primära utsläpp och bildning av UFP i luften till den slutliga depositionen på jordytan. Processerna i luften i kombination med storleken på partiklarna som släpps ut ger upphov till partiklar av olika storlekar.

Figur 2. Illustration av processerna i ultrafina partiklars livscykel

Illustration av processerna som påverkar partiklar i luften efter utsläpp. Nukleering innebär att det bildas nya partiklar, kondensation av gaser på partiklarna ökar deras storlek, och koagulering innebär att flera partiklar slås ihop till en, vilket betyder att antalet partiklar minskar. I molndroppar sker kemiska reaktioner som påverkar partiklarnas sammansättning och storlek.

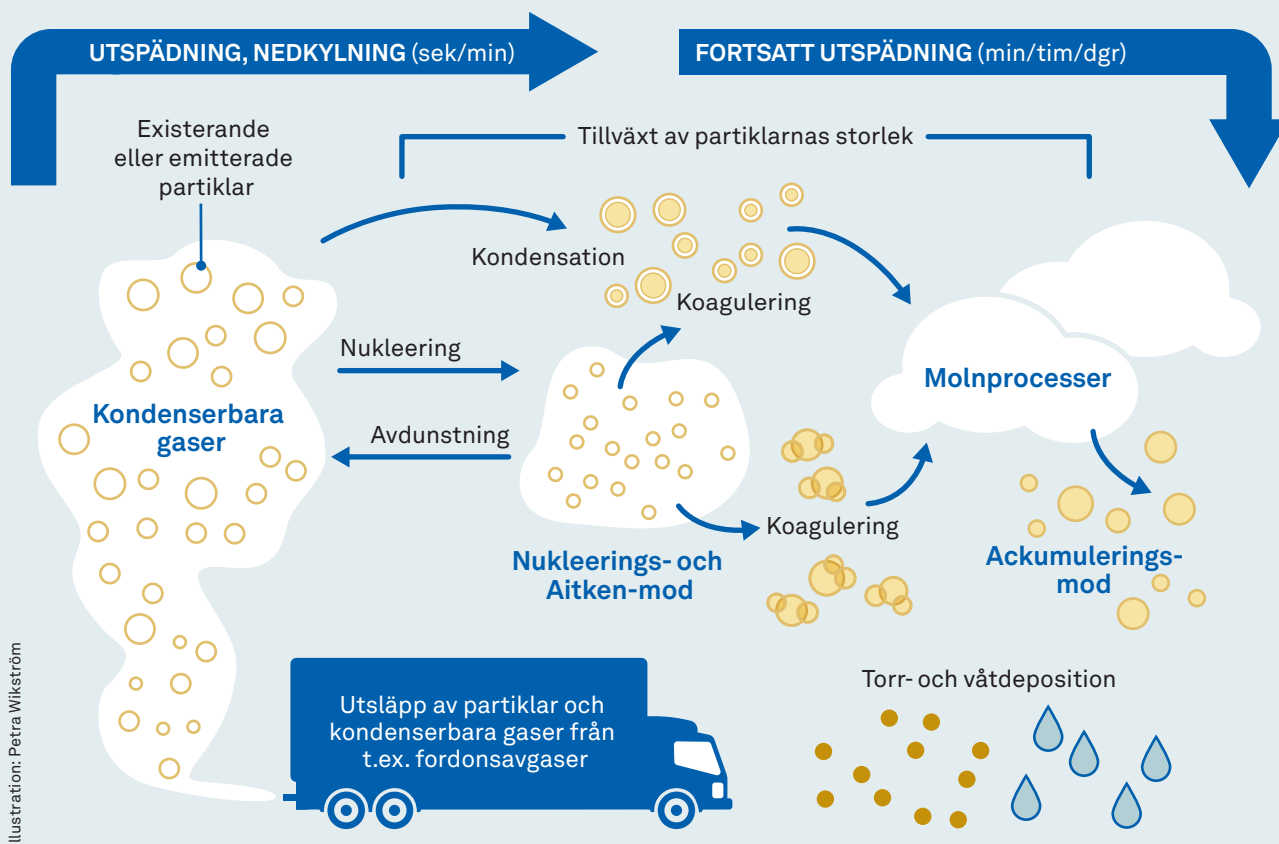


Illustration: Petra Wikström

Källa: Air Quality Expert Group: Ultrafine particles (UFP) in the UK.

I avgasutsläppen från vägtrafik förekommer både fasta partiklar och droppar. Direkt efter utsläppen från avgasröret sker en kraftig utspädning och nedkylning av avgaserna. Detta leder till att främst kolväten kondenseras på befintliga partiklar, vilket gör att partiklarna blir större. Det kan också leda till att nya partiklar bildas om det finns för få partiklar för kondensering.

När man mäter storleksfördelningar för partiklarna i utomhusluft kan partiklarna delas in i olika intervall eller ”storleksmoder”. Många av partiklarna som är större än 100 nanometer (ackumuleringsmoden) har blivit så stora efter att ha passerat ett eller flera moln, där de växt i storlek genom att gaser löses in i molndropparna och bildar fasta eller flytande föreningar, bland annat sulfater och nitrater.

Här finns flest ultrafina partiklar

Koncentrationen av UFP i atmosfären kan variera från 100 till över en miljon partiklar per kubikcentimeter beroende på hur nära källorna man befinner sig. De högsta halterna av UFP där människor vistas regelbundet uppmäts intill hårt trafikerade gator i storstäderna. Här kan det finnas tiotusentals

Figur 3.

Jämförelser mellan koncentrationen av antalet partiklar per kubikcentimeter och PM₁₀-partiklar per kubikmeter i olika miljöer.



Foto: Stockholms bildarkiv

Trafikerad gata

UFP: ~10 000/cm³ PM₁₀: ~20 µg/m³



Foto: Stockholms Luft- och Bulleranalys

Vägtunnel

UFP: ~100 000/cm³ PM₁₀: ~250 µg/m³



Foto: Kungliga tekniska högskolan

Tunnelbana

UFP: ~5 000/cm³ PM₁₀: ~200 µg/m³

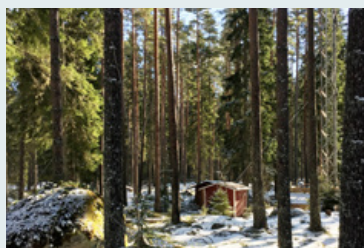


Foto: Stockholms universitet

Skog

UFP: ~2 000/cm³ PM₁₀: ~6 µg/m³

partiklar per kubikcentimeter (mätt som timmedelvärde).

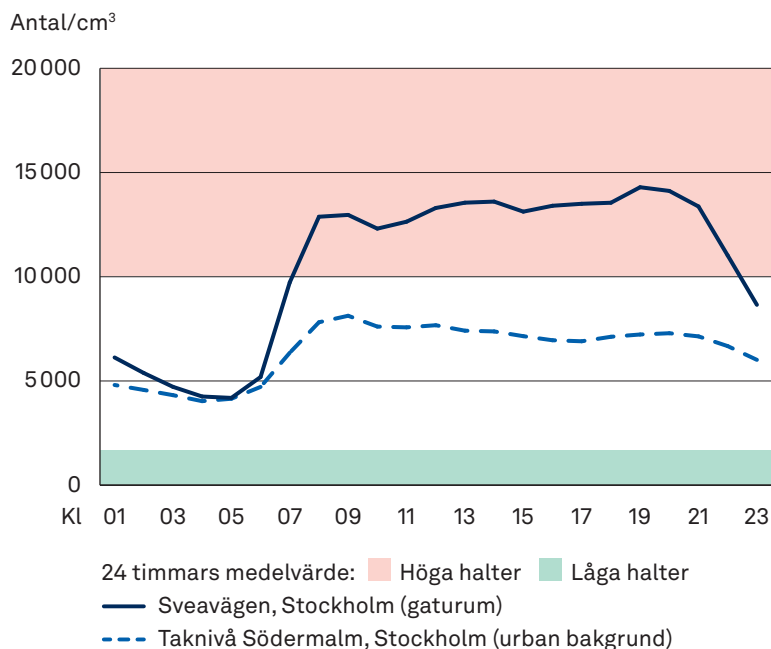
I Stockholm ligger den urbana bakgrundshalten på mellan 5 000 och 10 000 partiklar per kubikcentimeter, och närmre trafiken är halten ungefär den dubbla. Ute på landsbygden, långt utanför städerna, ligger halten på drygt 1 000 partiklar per kubikcentimeter.

Halter av antalet ultrafina partiklar i olika miljöer framgår av figur 3. De relativa skillnaderna i UFP-halterna i dessa miljöer är betydligt större än om PM₁₀ eller PM_{2,5} används som partikelmått. För PM₁₀ kan halterna i tunnelbanan vara uppemot tio gånger högre än i gatumiljö, medan halterna av UFP är betydligt lägre i tunnelbanemiljö än i gatumiljö, vilket beror på skillnader i källorna till partiklarna. Likaså är de relativa skillnaderna i halterna på olika platser inom en stad betydligt större för UFP jämfört med PM₁₀, vilket beror på att lokala källor har större påverkan på UFP jämfört med PM₁₀.

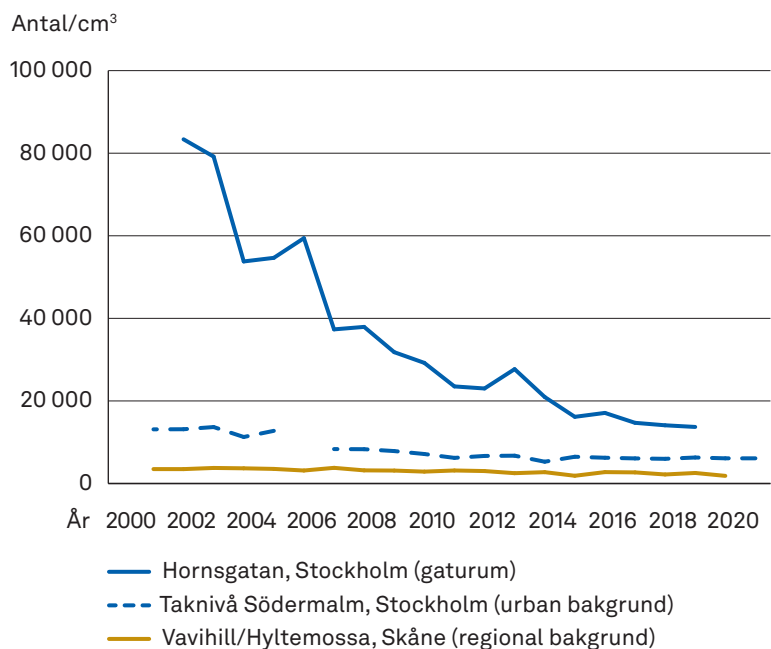
Trenden går åt rätt håll

UFP har hittills endast mätts kontinuerligt på ett fåtal platser i Sverige. Långtidsmätningar av antalet partiklar i gatunivå och taknivå i Stockholm samt på landsbygden i södra Sverige visar att partikelhalterna sjunker.

Figur 4. Ultrafina partiklar under vardagar i Stockholm



Figur 5. Utvecklingen av ultrafina partiklar i Sverige 2001–2021



Halterna på Hornsgatan i Stockholm har minskat med drygt 80 procent mellan 2002 och 2019 (se figur 5). I den urbana bakgrundsluften i centrala Stockholm är minskningen knappt 60 procent och på landsbygden i Skåne cirka 20 procent. Den kraftiga minskningen på Hornsgatan avspeglar de minskade utsläppen av avgaspartiklar tack vare renare fordon. Vi har sett en stor förbättring av halterna men har en bit kvar innan WHO:s rekommenderade nivåer är uppnådda.

Text & kontakt:

Christer Johansson,
 Stockholms universitet
christer.johansson@aces.su.se

Michael Norman, SLB Analys
michael.norman@slb.nu

Erik Swietlicki, Lunds universitet
erik.swietlicki@nuclear.lu.se

Lästips

Kumar, P. et al (2010). A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls ([sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com))

New WHO global air quality guidelines ([who.int](https://www.who.int))



Black Carbon – luftens svarta får

Vid ofullständig förbränning bildas sotpartiklar som riskerar att skada hälsan när de andas in. De påverkar dessutom klimatet genom att absorbera solens strålar. Studier har visat att sotpartiklar är en av de viktigaste grupperna bland luftföroreningar kopplat till negativa effekter på människors hälsa. Därför rekommenderar WHO åtgärder för att sänka nivåerna.

Vad är sot?

Sot är ett samlingsbegrepp för kolhaltiga partiklar som härrör från ofullständig förbränning. Vilken beteckning som anges beror på vilken mätmetod som använts för att bestämma sothalten.

Black Smoke (BS) mättes tidigare genom reflektansen av vitt ljus från ett filter med insamlade partiklar som sedan räknades om med ett index. Eftersom partiklarnas optiska egenskaper varierar, samt att andra partiklar än sot kan inverka, måste dock jämförelser av BS tas med en nypa salt.

Black Carbon (BC) eller EBC (Equivalent BC) beräknar halten av sot genom att mäta absorptionen av ljus vid en eller flera våglängder. Därefter omvandlas absorption till massa.

Elemental Carbon (EC) anger halten sot genom en metod där filterprovet värms upp successivt och sedan förångas och förbränns.

Refractory Black Carbon (rBC) anger sot som bestäms genom att en kraftig laser värmer sotpartiklarna så att de avger ljus som är ett mått på sotpartikelns massa.



De små partiklarna kan ta sig längre in i lungor än vad större partiklar kan, med negativa effekter på kärl-, hjärt- och luftvägshälsa samt risk för lungcancer. Halterna av partiklar i luften har minskat kraftigt över tid, samtidigt som kunskapen om deras skadliga effekter har vuxit. Vanligen mäts partikelhalten i de större storleksgrupperna PM_{10} och $PM_{2,5}$, trots att de små partiklarna, däribland sotpartiklar, riskerar att göra större skada. I de nya riktlinjer från WHO som kom under år 2021 finns därför rekommendationer om systematiska mätningar av sot och om att vidta åtgärder för att minska halterna ytterligare.

Sotpartiklars effekter kända sedan länge

Sotpartikelhalterna har mätts under lång tid både i städer och på landsbygden – långt före mätningar av PM_{10} och $PM_{2,5}$. De första dokumenterade

mätningarna i Europa är från 1920-talet. Mest citerade är de extremt höga halterna i London under smog-episoden i december 1952. Under den episoden mättes partikelhalter med stor andel sotpartiklar på uppemot 4 000 mikrogram per kubikmeter, vilket är uppemot 1 000 gånger högre än de värsta episoderna i Sverige i dag. Man uppskattar att de höga halterna under Londonsmogen och tiden kort därefter orsakade 12 000 förtida dödsfall.

I Sverige började sotpartiklar mätas i Göteborg i slutet på 1950-talet och några år senare även i andra kommuner. Mistanken om att sotet inte bara kom från utsläpp i de svenska städerna utan också kunde transporteras in från andra länder kunde senare påvisas tack vare mätningar i anslutning till flera fyrar längs svenska kusten (Sandhammaren, Falsterbo, Nidingen m.fl.).



Foto: TT

Hornsgatan i Stockholm är en av Sveriges mest trafikerade gator. I trafikerad stadsmiljö kan upp till 30 procent av partiklarna innehålla en sotkärna.

Så bildas sot

Sot bildas vid ofullständig förbränning av bränslen som innehåller kolväten. För att sotpartiklar ska bildas krävs dessutom att förbränningen sker under syrebrist. Under dessa förhållanden bildas från förbränningen skikt av grafen som böjer sig runt en kärna som lager i en lök. När "löken" är färdig har den växt till cirka 10–30 nanometer i diameter och utgör en primär sotpartikel. Dessa små partiklar slår sig väldigt snabbt samman och bildar större fluffiga aggregat som kan bestå av flera hundra primära sotpartiklar med en storlek runt 100–200 nanometer. Det är dessa partiklar vi återfinner i luften som sotpartiklar.

Sotpartiklarna "åldras" därefter i atmosfären genom att organiska ämnen, svavel och nitrat kondenserar eller absorberas på sotagglomeraten varvid det bildas partiklar med en blandad kemisk

sammansättning. Efter ett antal timmar blir partiklarna alltmer sfäriska. Via transport med luften kan sotpartiklarna nå även avlägsna platser, långt från den ursprungliga källan.

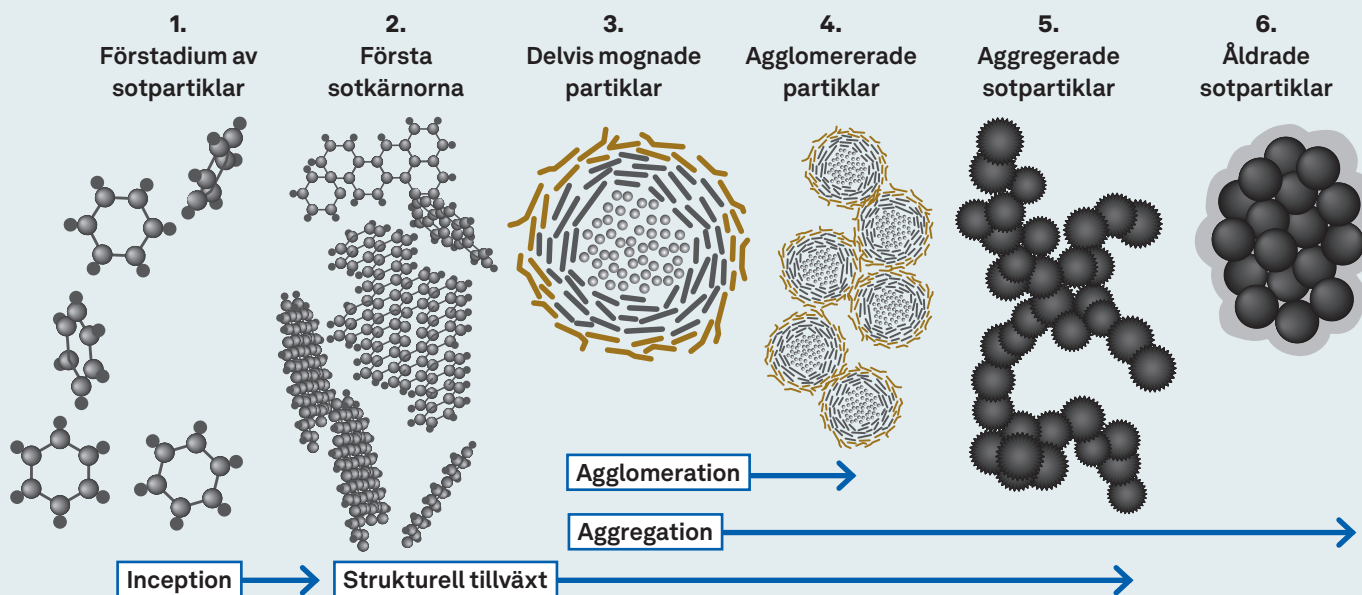
Ungefär var tjugonde partikel i bakgrunds-luften i södra Sverige innehåller en sotkärna. I en trafikerad stadsmiljö är det något mer, runt 10–30 procent av partiklarna.

Kraftigt minskade sothalter i Sverige

Mycket höga sothalter uppmättes i Göteborg och Stockholm under vinterhalvåret på 1960-talet. Sedan 1965 har halterna sjunkit med cirka 97 procent. Liknande trend i sothalterna syns också i flera andra städer i Sverige. Den viktigaste orsaken till de minskade halterna under 1970- och 80-talet har varit en kraftig utbyggnad av

Figur 1. Bildandet av sotpartiklar

Sotpartiklar bildas i flamman under själva förbränningen och partiklarna åldras sedan i luften.



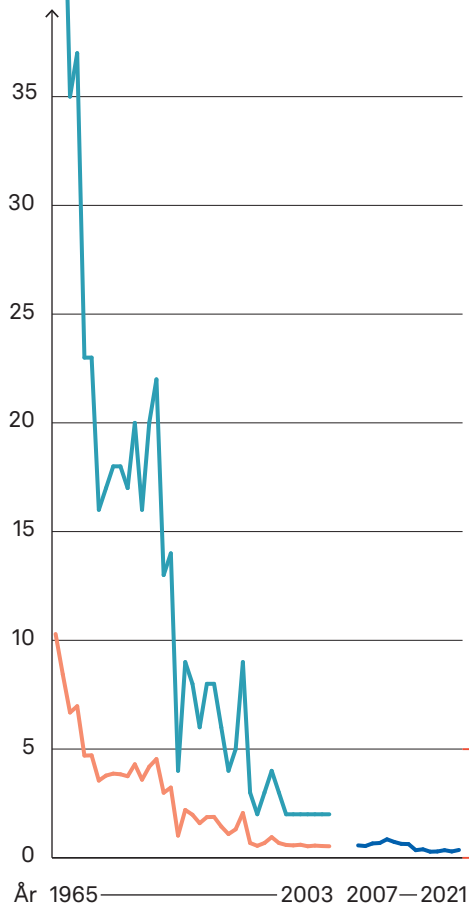
Källa: Omritad från Michelsen, Hope A. et al. ACS Nano 2020, 14, 10, 12470–12490.

fjärrvärme, med minskade utsläpp från oljeförbränning inne i tätorterna. Under de senaste 10–20 åren har även minskade utsläpp av partiklar från biltrafiken bidragit till sjunkande sotpartikelhalter. I dag (2022) mäts sotpartiklar i Malmö, Stockholm och Umeå (se figur 2).

Att veta sotpartiklarnas ursprung effektiviserar åtgärdsarbetet

Sot absorberar synligt ljus, men beroende på den kemiska sammansättningen absorberar sotpartiklarna ljus olika bra. Detta gäller speciellt sotpartiklar från trafik och vedeldning, de två dominerande källorna för sotpartiklar i urbana miljöer i dag.

Figur 2a
µg/m³



— Black Smoke (BS)
— Black Carbon (BC) Beräknat Olstrup et al. 2017
— Black Carbon (BC)

Figur 2. Utveckling av sothalter i Sverige 1965–2021

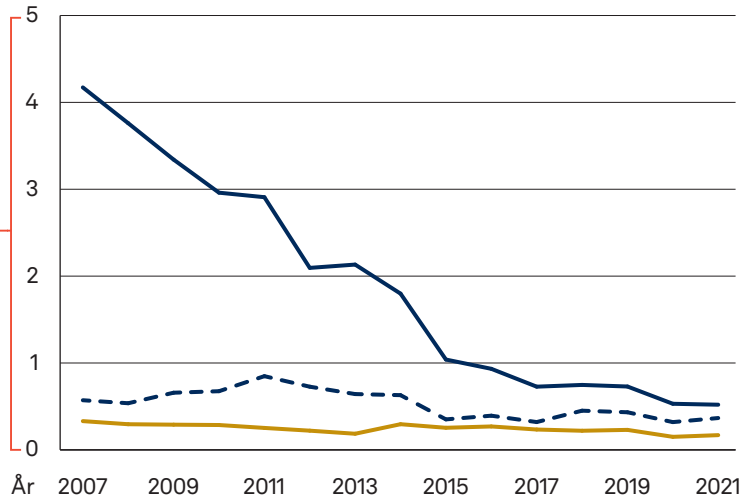
Figur 2a. Sot Stockholm taknivå

Årsmedelvärden av sotpartikelhalterna mätt som Black Smoke (BS) och Black Carbon (BC) i taknivå i Stockholm. För jämförelse har BS-halterna även räknats om till BC baserat på Olstrup et al (2017).

Figur 2b. Sot Sverige

Årsmedelvärden av sotpartikelhalterna mätt som Black Carbon (BC) i regional bakgrund, urban bakgrund och gatunivå.

Figur 2b
µg/m³



— Urban gatunivå (Stockholm, Göteborg, Malmö)
- - - Urban bakgrund (Stockholm, Göteborg, Malmö, Umeå)
— Regional bakgrund (Aspvreten/Norunda, Vavihill/Hyltemossa)

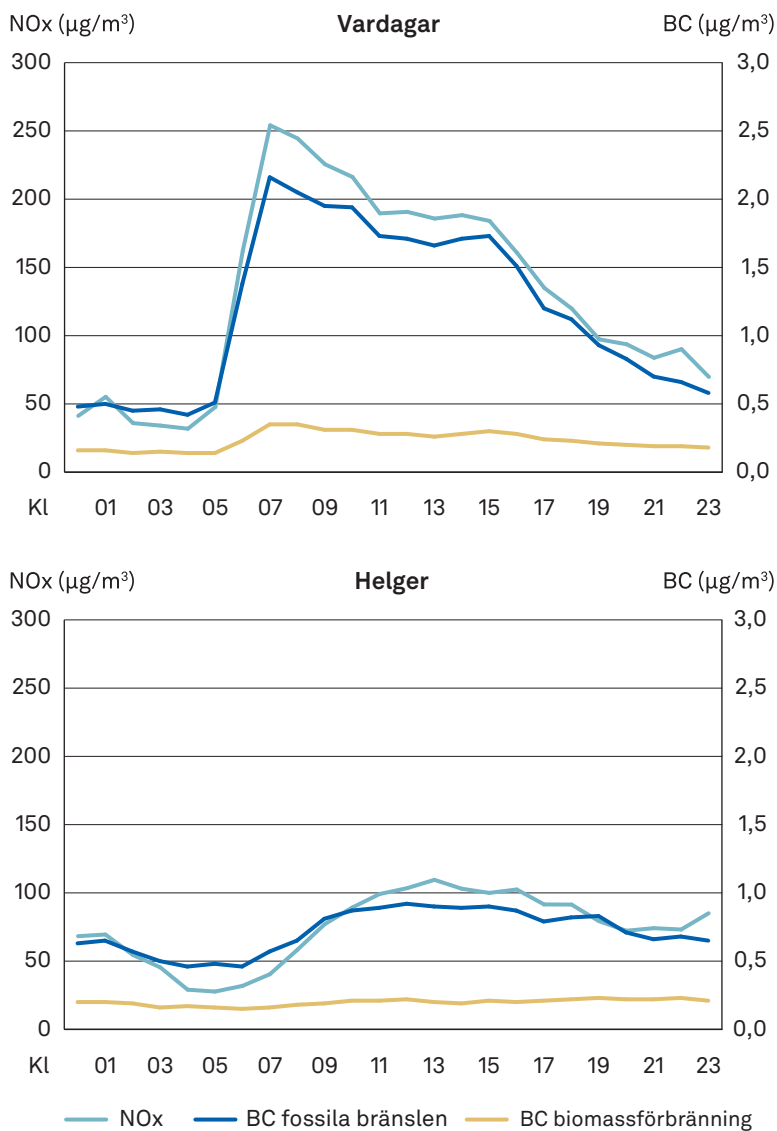
Sot från förbränning av biomassa innehåller en hög andel organiskt material, så kallat brunt kol, som också absorberar ljus. Det bruna kolet absorberar blått ljus mer effektivt jämfört med rött ljus, vilket skapar ett våglängdsberoende. Styrkan hos våglängdsberoendet beskrivs av den så kallade ångströms-exponenten. Trafikrelaterade sotpartiklar innehåller en mindre andel organiskt material vilket gör att partiklarna är helt svarta och absorptionen är lika effektiv oavsett ljusets våglängd.

Det finns i dag flera instrument som kan användas för att mäta sotpartiklarnas absorption. Flera av dessa mäter sot optiskt vid olika våglängder. Vid mätningar används skillnaden i ljusabsorption för de olika våglängderna för att bestämma vilken källa som är dominerande för det sot som vi mäter på en specifik plats. Instrumenten mäter den totala absorptionen, både sot och brunt kol, vilket tillsammans anges som Black Carbon (BC). Detta innebär att sotets förmåga att absorbera olika färger kan variera trots att mängden BC är konstant.

Genom att utnyttja våglängdsberoendet hos sotpartiklarna kan vi bestämma källan till de sotpartiklar som vi mäter och därmed effektivisera åtgärdsarbetet. Genom att veta var sotet kommer ifrån kan åtgärder

Fig 3. Sotpartiklarnas dygnsvariation och koppling till trafikens avgaser

Figuren visar hur källfördelningen mellan sotpartiklar från trafiken respektive från biomasseförbränning ser ut under veckodagar (övre bilden) samt under helger (nedre bilden) vid en trafikbelastad mätplats (Hornsgatan, Stockholm). Jämförelse görs med halten kväveoxider (NOx) eftersom dessa i princip enbart kommer från trafiken och korrelerar väl med det fossila sotet.



sättas in mot rätt källa. Att tydligt peka på var olika åtgärder skulle göra som mest nytta är viktigt för att motivera beslutsfattare att agera.

En betydande, och ökande, andel av sothalterna beror på intransport från andra länder. Figur 4 visar att de högsta halterna av BC observeras när luften kommer från sydost och lägst halter när luften kommer från nordväst.

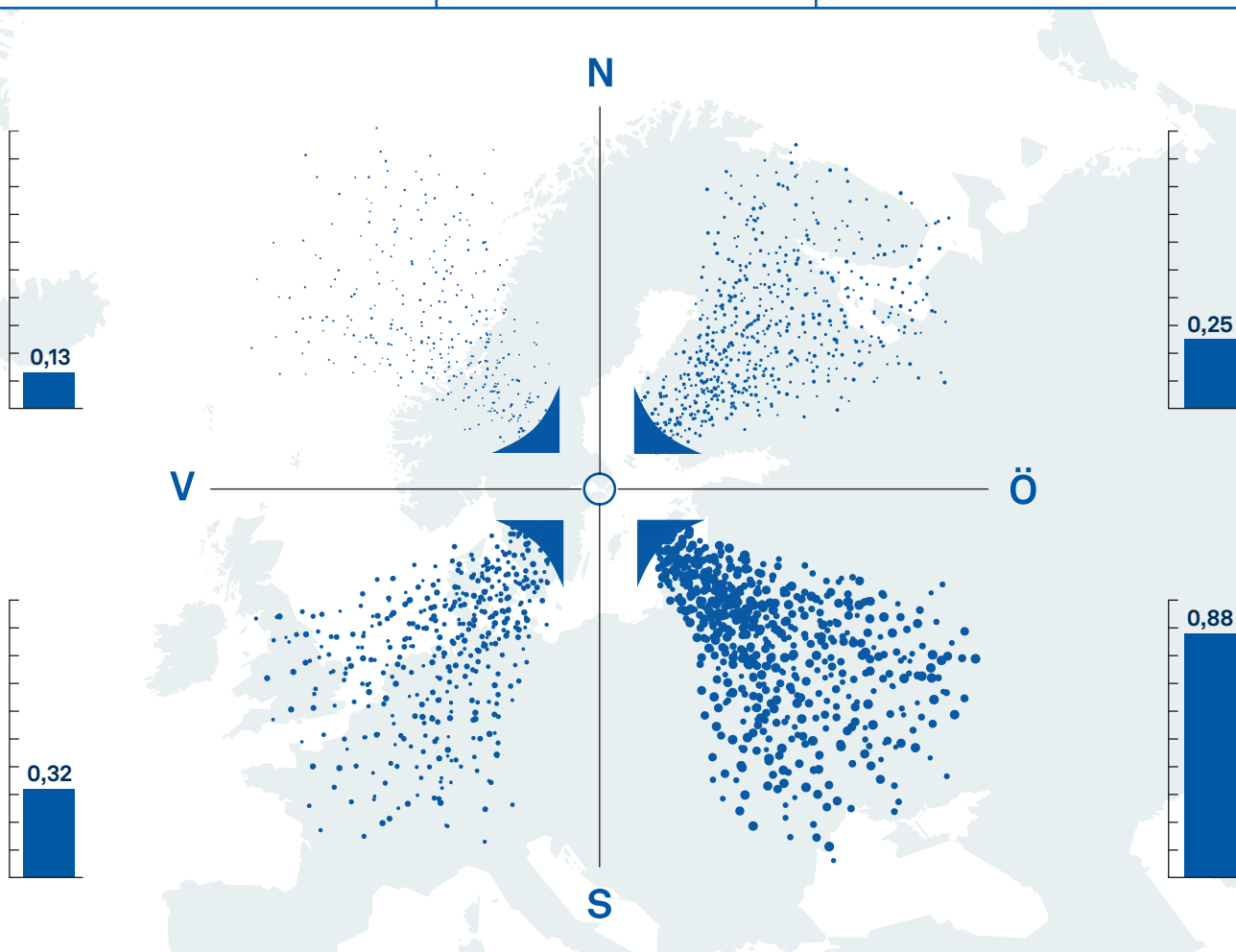
Figur 4. Intransporten av stor betydelse

Medelvärden av BC-halterna vid Aspvreten utanför Nyköping i luften som kommer från olika sektorer. Baserat på mätningar 2005–2010.

Källa: Omritad från Jönsson et al., Air pollution episodes in Stockholm regional background air due to sources in Europe and their effects on human population. Boreal Environment Research, 18, 280–302.

Åtgärder och samarbeten för att minska sothalterna

Viktiga åtgärder för att minska utsläppen av BC är att minska de dieseldrivna vägtransporterna och att minska användningen av ved för individuell uppvärmning, eller vidta åtgärder som förbättrar verkningsgraden vid användning av ved som bränsle. Takten i introduktionen av eldrivna fordon



har stor betydelse för hur snabbt utsläppen av BC minskar, men även inblandning av förnybara bränslen i diesel bidrar till minskade utsläpp, och partikelfilter i nya bilar tar bort mer än 90 procent av partiklarna.

Det finns i dagsläget ingen miljö kvalitetsnorm eller miljö målsprecisering för sot. För att minska hälsoeffekter, klimat-effekter samt sotets nedsmutsande effekt är det dock viktigt att utsläppen minskar. I FN:s luftvårdskonvention (Göteborgsprotokollet) och EU:s taktidirektiv nämns sot som den del av partikelutsläppen som man ska försöka minska och utsläppen rapporteras redan i dag av flera länder. Rapporterade data är en viktig grund för att kunna förstå utsläpp, källor och trender så att rätt åtgärder kan sättas in lokalt och globalt, och på grund av transport av sot över stora områden blir internationella samarbeten avgörande för en god luft för alla.



Foto: Johnér

Text & kontakt:

Johanna Snellström,
tidigare Stockholms universitet

Sanna Silvergren, SLB-analys
sanna.silvergren@slb.nu

Erik Swietlicki, Lunds universitet
erik.swietlicki@nuclear.lu.se

Jennie Hurkmans, SLB-analys
jennie.hurkmans@slb.nu

Christer Johansson,
Stockholms universitet
christer.johansson@aces.su.se

Lästips

Sot, utsläpp till luft (naturvardsverket.se)

BMJ Open May 2022 – Volume 12 – 5 (bmjopen.bmj.com)

Nilsson Sommar, J. et al (2021). Long-term exposure to particulate air pollution and black carbon in relation to natural and cause-specific mortality: a multicohort study in Sweden (bmjopen.bmj.com)

Ljungman, P. et al (2019). Long-term exposure to particulate air pollution, black carbon, and their source components in relation to ischemic heart disease and stroke | Environmental Health Perspectives | Vol. 127, No. 10 (nih.gov)

Små partiklar men stora hälsoproblem

Luftburna partiklar leder till stor ohälsa på befolkningsnivå globalt och i Sverige. Forskningen visar att partiklar bidrar till många olika sjukdomar och att vissa känsliga grupper särskilt bör beaktas. Under de senaste åren har negativa hälsoeffekter kunnat kopplas till mycket låga partikelhalter – under de svenska miljömålen.

Vi andas varje dag in en stor mängd luftburna partiklar, som påverkar risken att insjukna i olika sjukdomar för både barn och vuxna. Sedan länge är det känt att partiklar ökar risken för hjärt- och lungsjukdomar och att dö i förtid. Det blir allt tydligare att de också har påverkan på fosterutveckling, ökar risken för diabetes typ 2 och olika cancerformer samt påverkar hjärnans funktioner och ökar risken för demens. Partiklar har både snabba och långsamma effekter på kroppen. Redan inom några timmar eller dagar efter exponering ökar risken för exempelvis astmaanfall eller hjärtinfarkter, medan årtal av exponering kan medverka till exempelvis cancerutveckling, åderförkalkning eller dålig lungfunktion.

Luftburna partiklar påverkar hela kroppen

Partiklar som andats in kan tränga långt ner i lungorna och i vissa fall också via blodomloppet ta sig vidare till exempelvis levern, hjärnan och njurarna. Partiklarna kan bidra till sjukdom på flera olika sätt. Risken för inflammation och oxidativ stress (skada som orsakas av reaktiva syreföreningar) ökar liksom påverkan på det icke-viljestyrda nervsystemet. Det finns också tecken på att partiklar kan påverka blodkärlens förmåga att öka blodflödet vid syrebrist och blodets levringsförmåga.

Individer med underliggande sjukdomar, exempelvis hjärt- eller lungsjukdomar, är känsligare än friska personer för luftföroreningar som partiklar. Även gravida kvinnor anses extra känsliga, då

Figur 1. Sjukdomar kopplade till luftföroreningar

Sammanfattning av olika sjukdomar som kopplats till luftföroreningar som partiklar.

Stroke
Neurologisk utveckling
Psykisk ohälsa
Demens

Sjuklighet och dödlighet i luftvägssjukdomar
Lungcancer
Lunginflammation
Övre och nedre luftvägsinfektioner
Minskad lungfunktion och lungtillväxt

Sjuklighet och dödlighet i hjärt-/kärlsjukdomar
Hjärtinfarkt
Hjärtrytmrubbningar
Hjärtsvikt

Diabetes

Förtida födsel
Minskad födelsevikt
Störd fosterutveckling och graviditetskomplikationer

Högt blodtryck
Ökad risk för blodproppar
Systemisk inflammation

Källa: Omritad efter Thurston, G.D. et al (2017).



Foto: Adobe Stock

Barn är extra känsliga för luftföroreningar, både för att de växer och för att de tillbringar mycket tid utomhus. Även individer med underliggande sjukdomar kan vara mer känsliga än friska personer.

fostret kan påverkas av luftföroreningspartiklar under graviditeten. Detsamma gäller små barn, eftersom deras små och växande luftvägar är mer känsliga och de tillbringar mycket tid utomhus. Barns hälsa i relation till luft och miljö har beskrivits utförligt i en tidigare rapport från Naturvårdsverket, Luft & miljö – Barns hälsa från 2017.

Det finns ingen säker nedre gräns

Under de senaste åren har negativa hälsoeffekter kunnat kopplas till allt lägre halter av luftföroreningar, även vid nivåer som ligger under de nuvarande svenska miljömålen. I det svenska forskningsprogrammet SCAC (Swedish Clean Air and Climate Research Program), med deltagare i Göteborg, Stockholm och Umeå, sågs samband

mellan luftföroreningar vid bostaden och både risken att drabbas av stroke och att dö en förtida död. I internationell jämförelse är de luftföroreningshalter som förekommer i Sverige låga. Trots det har det visats att minskad födelsevikt, nedsatt lungfunktion och risken att insjukna i astma, demens och hjärtinfarkt har samband med de luftföroreningsnivåer som förekommer i Sverige. Dessa fynd har också bekräftats i stora studier i Europa och Nordamerika och i litteratursammanställningar.

Någon säker nivå, under vilken luftföroreningar helt saknar negativa hälsoeffekter, har inte kunnat fastställas. Sambandet mellan luftföroreningsnivåerna och deras hälsokonsekvenser verkar faktiskt vara som brantast vid låga nivåer, dvs. att riskökningen blir högre för samma ökning av dosen (halten) av partiklar vid låga nivåer än vid

höga (figur 2). Svagare samband vid högre nivåer kan bero på biologiska försvarsmekanismer som aktiveras eller att de mest känsliga personerna påverkas redan av låga nivåer. Att hälsonyttan av att minska luftföroreningshalterna är stor även vid låga nivåer innebär att sänkta halter av luftföroreningar skulle göra stor nytta för Sveriges folkhälsa. Därför finns det en bred vetenskaplig konsensus att WHO:s nya kraftigt skärpta riktlinjer för luftkvalitet är väl motiverade ur hälsosynpunkt och en viktig målsättning för folkhälsan, trots att de är svåra att uppnå i stora delar av världen.

Hälsokonsekvenserna av partiklar är stora

Hälsokonsekvenserna av partiklar är på befolkningsnivå stora i Sverige och världen. Olika rapporter anger dock olika stora effekter. Skillnaderna beror på hur observerade samband mellan

halt och risk i epidemiologiska studier tillämpas för att göra teoretiska beräkningar gällande hela befolkningar. Valet kan stå mellan att tillämpa genomsnittliga samband från så många studier som möjligt, eller färre, mer relevanta samband. Antaganden kan därför skilja sig mellan globala, nationella och lokala analyser, bland annat eftersom partiklar från olika källor kan ha olika effekt. Konsekvensberäkningar avser vanligen långtidseffekter av årsmedelhalter, men kan ibland avse mer omedelbara effekter av kortare perioder med förändrade halter.

Inom den återkommande studien Global Burden of Disease beräknas hur många förtida dödsfall och förlorade friska år som beror på olika riskfaktorer. För 2019 rankades omgivningsluftens partiklar som den sjunde största riskfaktorn av alla, med rökning som den enda yttre (ej individburna) faktorn med större betydelse. Denna och flera andra beräkningar uppskattar att människans utsläpp årligen ligger bakom 4–5,5 miljoner förtida dödsfall per år.

Figur 2. Förtida död beroende på luftföroreningar, PM_{2,5}

En justerad variant av resultaten från Strak och kollegor 2021 från den europeiska ELAPSE-studien. Här visas tydliga samband mellan långtidsexponering för luftföroreningar och risken att dö en förtida död även vid halter under nuvarande svenska miljökvalitetsnormer. Den större lutningen på linjen vid låga halter visar också att sambandet mellan partiklar och död är starkare per mikrogram partiklar i områden med låga halter såsom Sverige.

Källa: Strak, M. et al (2021), doi.org/10.1136/bmj.n1904

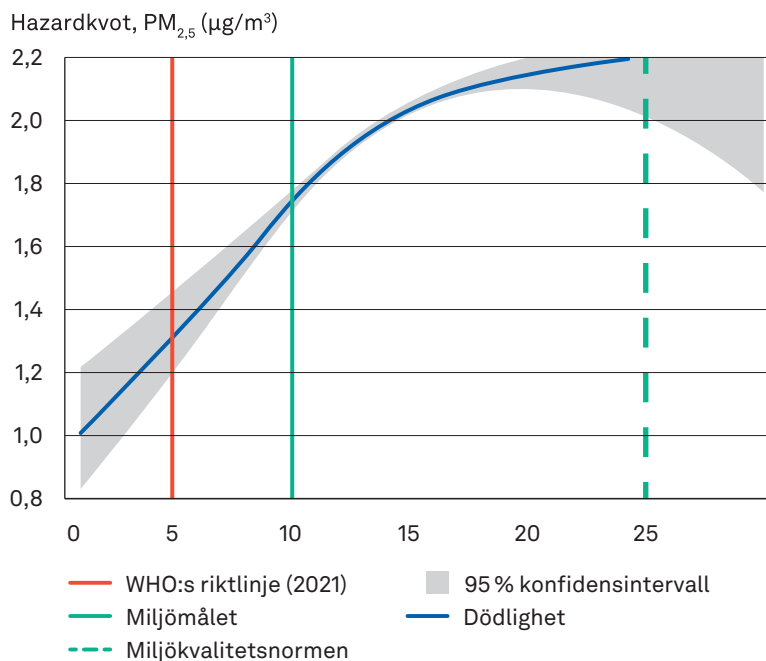




Foto: iStock

I Sverige uppskattas partiklarna medföra flera tusen förtida dödsfall årligen.

Sänkta halter kan ge stora effekter på hälsan

Efter att WHO:s nya riktlinjer utgavs hösten 2021 publicerades en studie om vinsterna med att sänka årsmedelkoncentrationen av $PM_{2,5}$ till 5 mikrogram per kubikmeter. En sådan haltminskning i 47 städer med totalt en tredjedel av Europas befolkning beräknades leda till drygt 109 000 färre förtida dödsfall per år, men europeiska resultat tyder på att effekten kan vara dubbelt så stor. Vinsterna av historiska minskningar bedöms också vara stora i Europa, med cirka en tredjedels minskning av $PM_{2,5}$ -halter från 1990 till 2019 och lika stor

minskning i dödlighet. En studie av PM_{10} -halten i Stockholm, Göteborg och Malmö 1990–2015 konstaterade däremot att mätdata inte visade på någon gemensam eller tydlig trend i Sverige.

Många dödsfall och stora samhällskostnader

I Sverige uppskattas partiklarna årligen medföra flera tusen förtida dödsfall. Ett förtida dödsfall beräknas som en genomsnittlig förlust av tio levnadsår per fall. Intransporterade luftföroreningar bedöms vara den största orsaken. I Storstockholm beräknas de lokala utsläppen ha resulterat i ett antal hundra

Epidemiologiska och experimentella studier

Epidemiologiska studier innebär att man utifrån den faktiska förekomsten av olika hälsoutfall i en befolkning beräknar hur risken att drabbas sammanhänger med olika faktorer, till exempel luftföroreningshalten där man bor. När effekter analyseras försöker man isolera eller samtidigt ta hänsyn till olika riskfaktorer så att olika samband kan hållas isär. Studierna kan gälla såväl kortare perioder som tiotals år. Vilka som drabbats kan undersökas av forskarna själva eller baseras på exempelvis diagnos- och dödsorsaksregister.

Experimentella studier möjliggör för forskarna att styra över hur ingående individer (till exempel försökspersoner) utsätts för den studerade riskfaktorn och även ha kontroll över andra faktorer. Studierna på människor begränsas till kort varaktighet och förekomst av lindriga och övergående förändringar, medan djurförsök kan avse även sådant som utveckling av cancer.

förtida dödsfall per år. Bidraget från trafikens slitagepartiklar var betydligt större än det från avgaspartiklar eftersom halterna var högre.

Luftföroreningar leder till stora samhälls-ekonomiska kostnader. Enligt en svensk metod som används för att beräkna hälsokostnader för vägtrafikens luftutsläpp står de förtida dödsfallen för drygt hälften av hälsokostnaderna, men även stroke, diabetes och barndebuterad astma innebär höga kostnader.

Bevisen är starkast för fina partiklar

Även om vi med hög säkerhet vet att luftföroreningar orsakar ohälsa är det svårare att säga hur farliga de olika beståndsdelarna är. Eftersom olika luftföroreningar i verkligheten ofta släpps ut tillsammans är det svårt att utan experiment urskilja deras enskilda effekter.

Starkast belägg finns för fina partiklar (PM_{2,5}). Vissa experimentella studier tyder på att de allra minsta (ultrafina partiklar, mindre än 100 nanometer) och nyligen bildade partiklarna kan ha stor påverkan på hälsan. Ultrafina partiklar har dock i epidemiologiska studier inte haft så tydliga samband med hälsoeffekter som väntat. Detta kan bero på att mätpunkterna är för få för att kunna fånga den stora variationen i spridning av dessa partiklar. Experimentella studier har däremot givit stöd för att det är just partiklarna som orsakar snabbare tillväxt av åderförkalkning, sänkt njurfunktion och ökad risk för blodproppar efter exponering för luftföroreningar.

Partiklar från vägslitage och skogsbränder kan öka

Även om de långväga och åldrade partiklarna svarar för mer än halva koncentrationen på en plats kan de lokala utsläppen nära sin källa vara mer hälsoskadliga. En anledning till det kan vara att de transporterade luftföroreningarnas samman-

sättning är mindre hälsofarlig. I dag är vägtrafik och vedeldning de största lokala källorna till små partiklar. Partiklar från vedeldning är mindre väl studerade, men kan ha liknande hälsoeffekter som de mer studerade avgaspartiklarna.

Det finns anledning att tro att partiklarna från vägslitage kommer att öka i framtiden medan mängden avgaser minskar, eftersom bilarna blir allt tyngre och i högre grad elektrifierade. I dag vet vi dock alldeles för lite om hur vägslitagepartiklar kan påverka hälsan för att säga hur denna förändring kommer att påverka människors hälsa. Klimatförändringarna kan också göra att skogsbränder blir en vanligare och därmed mera betydelsefull källa till luftföroreningar i Sverige.

Text & kontakt:

Karl Kilbo Edlund, Göteborgs universitet
karl.kilbo.edlund@gu.se

Bertil Forsberg, Umeå universitet
bertil.forsberg@umu.se

Petter Ljungman, Karolinska institutet
petter.ljungman@ki.se

Leo Stockfelt, Göteborgs universitet
leo.stockfelt@amm.gu.se

Lästips

Brunekreef, B. et al (2021). Mortality and morbidity effects of long-term exposure to low-level PM2.5, BC, NO2, and O3: an analysis of European cohorts in the ELAPSE project (healtheffects.org)

What are the WHO Air quality guidelines? (who.int)

Quantification of population exposure to NO₂, PM₁₀ and PM_{2,5}, and estimated health impacts 2019 (ivl.se)

Quantification of population exposure to PM₁₀, PM_{2.5} and NO₂ and estimated health impacts for 2019 and 2030 (smhi.se)

Faktablad Luftföroreningar och hälsa (amm.se)

Luft och miljö 2017 – Barns hälsa (diva-portal.org)

Toxikologi – ett sätt att förstå partiklar

Partiklar som fastnar i lungorna kan orsaka stora hälsoproblem. Hur skadliga partiklarna är beror dels på hur långt ner i lungorna partiklarna tar sig och hur länge de stannar kvar i kroppen. Men det beror också på deras toxicitet. Toxikologiska studier behövs för att ta reda på vilka partiklar som är skadligast och för att bedöma riskerna med nya typer av partiklar.



Genom att odla celler som finns i lungan, utsätta dem för partiklar och studera de toxiska effekterna kan man få en uppfattning om vilka typer av partiklar som är skadligast. Det gör det också möjligt att studera ”nya” partiklar som exempelvis genereras från nya typer av bränslen eller som tillverkas för att användas i nya material.

Vad händer i kroppen när man andas in partiklar?

Partiklar som finns i luften kommer i olika grad att deponera (fastna) i lungan. Hur stor andel som deponerar beror på många faktorer, exempelvis

partiklarnas storlek och individens andningsmönster. Beroende på var i lungan partiklarna deponerar, och partiklarnas egenskaper, kommer de finnas kvar olika lång tid i lungan. En stor andel av mikrometerstora partiklar fastnar i de övre luftvägarna, och här finns det flimmerhår som hjälper till att transportera partiklarna till munhålan där de sväljs. Partiklar som är tillräckligt små för att komma ända ner till alveolerna (där kroppen tar upp syre från luften) försvinner inte lika effektivt från lungan, och här är en typ av immunceller som kallas makrofager viktiga för att ta hand om partiklarna. Partiklar som löser upp sig med tiden kommer också att försvinna från lungan

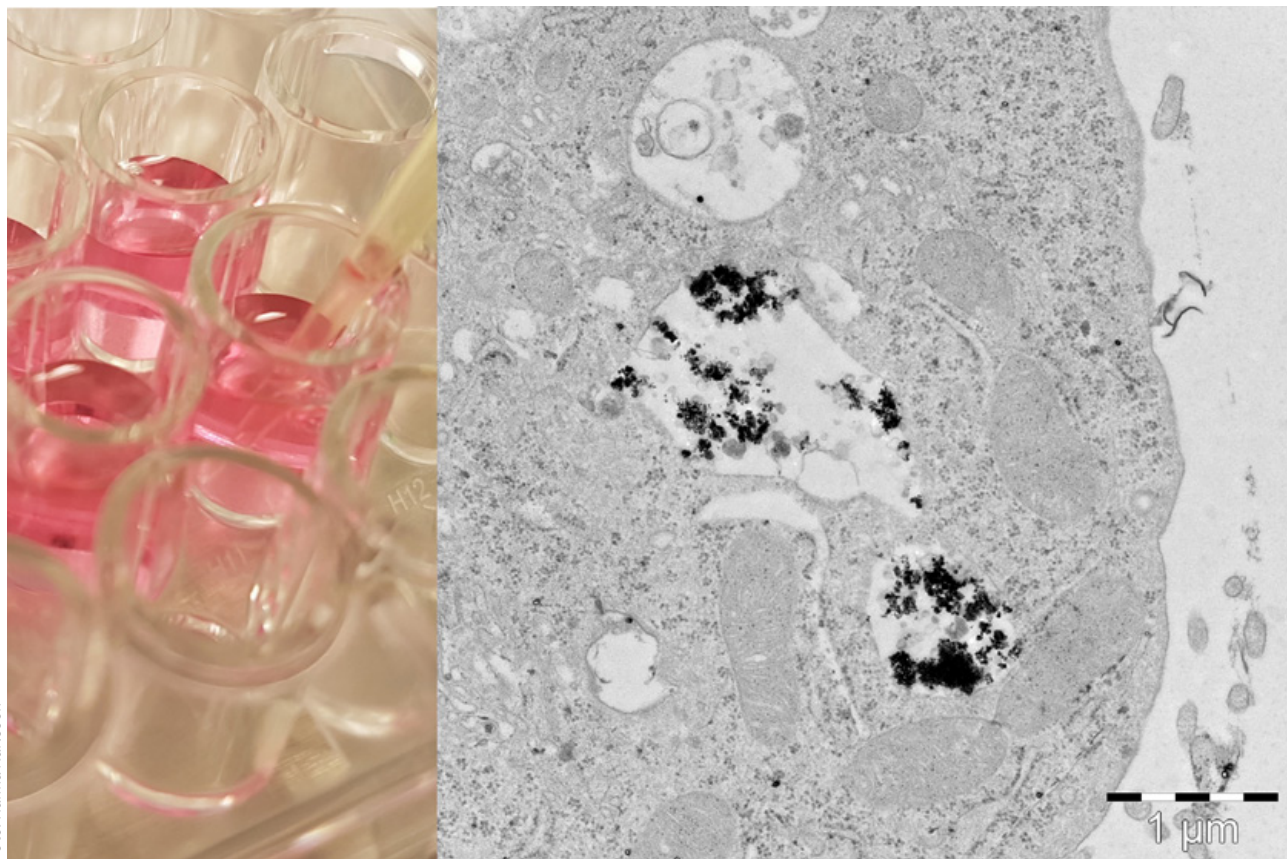


Foto: Hanna Karlsson

Foto: Electron microscopy unit, Karolinska institutet

På laboratoriet kan man odla olika celler i plastskålar och sedan utsätta dem för partiklar och studera de toxiska effekterna. Många celltyper tar upp partiklar som ofta hamnar i små vesiklar inne i cellen. Detta kan man exempelvis studera genom att använda elektronmikroskopi. På bilden till höger syns svarta partiklar inne i en lungcell.

genom denna process medan svårslösliga partiklar kan finnas kvar längre. Beroende på partikelns egenskaper (till exempel storlek) kan även partiklar ta sig vidare från alveolerna till blodet, men troligen är det ingen stor andel utan snarare några procent av den totala massan som gör det. Det finns också studier på djur som tyder på att partiklar som deponerar i näsan kan ta sig vidare till hjärnan via luktnerven. Beroende på partiklarnas egenskaper kan olika skadliga effekter sedan sättas igång. Dessa effekter inkluderar inflammation, oxidativ stress och genotoxicitet (se fakta).

Varför är partiklar skadliga och vad beror toxiciteten på?

En inflammation är en försvarsmekanism som kan bli skadlig, framför allt om den blir långvarig. Som en del av kroppens försvar bildas syreradikaler, och om inte antioxidanter klarar av att oskadliggöra dessa så kan det leda till en obalans som kallas oxidativ stress. Partiklarnas yta kan också vara reaktiv och därigenom bilda syreradikaler. Partiklarna kan också bestå av olika lösliga metaller som effektivt kan orsaka oxidativ stress.

Genotoxiska effekter innebär att cellernas DNA skadas. Även detta kan uppstå av syreradikaler och då kan exempelvis DNA-strängbrott orsakas. Andra ämnen, exempelvis vissa polycykliska aromatiska kolväten (PAH), kan ta sig in i cellkärnan och bindas till DNA så att så kallade DNA-addukter bildas. Skadorna på cellernas DNA repareras oftast men om de inte gör det, eller om de repareras felaktigt, kan mutationer uppstå. Sådana bestående förändringar i arvsmassan kan leda till cancer.

Hur skadliga partiklar som andas in är beror på många olika saker: först och främst om partikeln tar sig in i lungan och hur länge den stannar kvar. Toxiciteten beror i sin tur bland annat på partikelns form, exempelvis har makrofager väldigt svårt att ta hand om långa och stela fibrer (till exempel asbest),



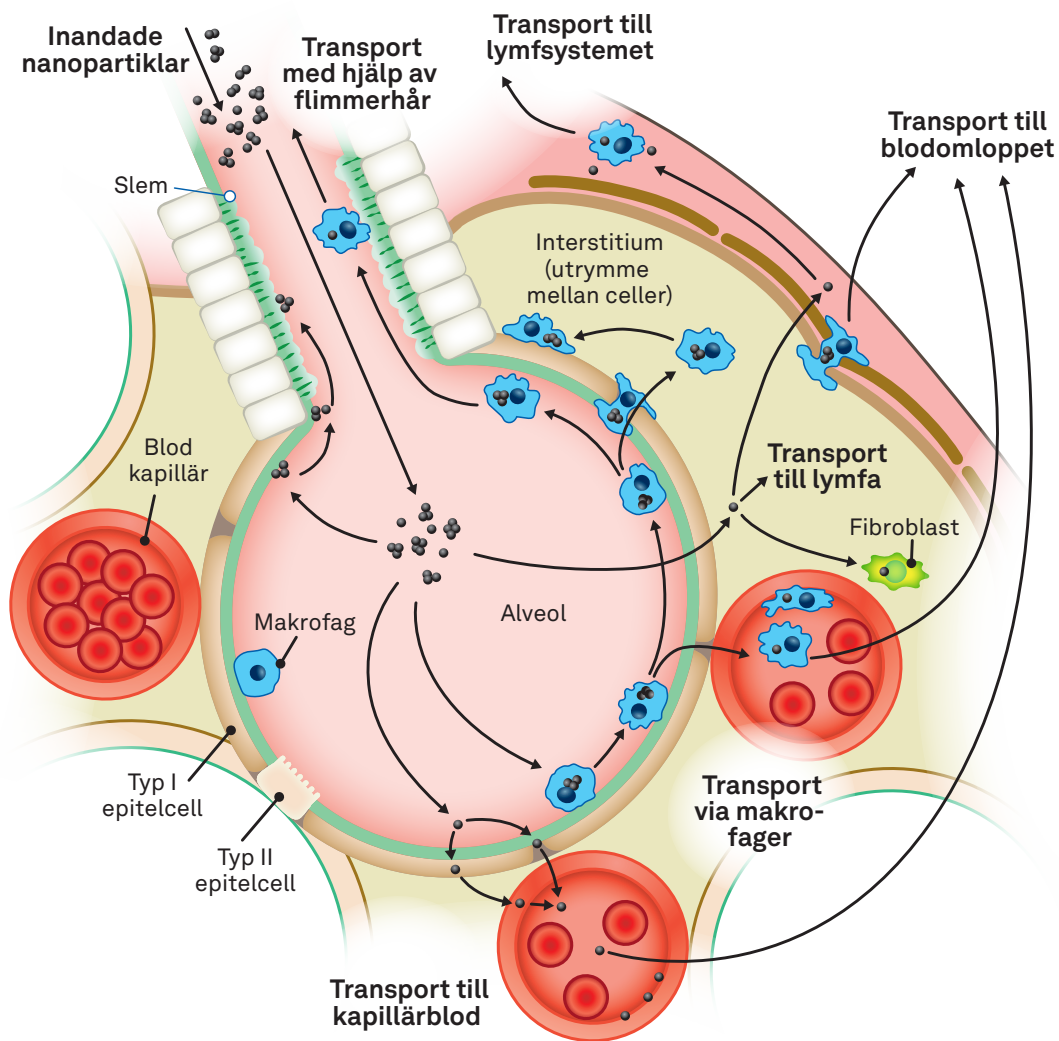
Foto: Adobe Stock

Oxidativ stress, genotoxicitet och inflammation

Oxidativ stress: Ett tillstånd som kan uppstå om det finns en obalans mellan reaktiva syremolekyler och mängden antioxidanter.

Genotoxicitet: Skador på arvsmassan (DNA). Det kan exempelvis vara DNA-strängbrott orsakat av syreradikaler eller DNA-addukter som bildas när ett ämne binder in till DNA. Sådana effekter kan orsaka fel i den genetiska koden (mutationer) då cellen delar sig.

Inflammation: En försvarsmekanism som innebär att kroppens immunförsvar reagerar på olika sätt. Ett naturligt försvar som kan bli skadligt, framför allt om inflammationen blir långvarig.



Figur 1. Partiklarnas väg genom alveoler

Schematisk bild av partiklar i alveolerna. Makrofager kan transportera partiklar till luftvägar med flimmerhår (för så kallad mukociliär transport) eller till lymfsystemet. En del av partiklarna, eller lösliga ämnen från partiklarna, kan också transporteras till blodet. Genom att odla celler som finns i lungan (epitelceller, makrofager etc.), utsätta dem för partiklar och studera de toxiska effekterna kan man få en uppfattning om vilka typer av partiklar som är skadligast. Det gör det också möjligt att studera helt nya partiklar.

Källa: Omritad efter Stone, V. et al (2017), Nanomaterials versus ambient ultrafine particles: an opportunity to exchange toxicology knowledge.

och när de misslyckas med att ta upp fibrerna bildas mycket syreradikaler som kan skada lungan (så kallad frustrerad fagocytos). Toxiciteten beror också på om partikelns yta är reaktiv och vad partikeln består av. Framför allt är vissa metaller och PAH:er skadliga. En intressant fråga är om små partiklar, de som kallas ultrafina eller nano-partiklar, är skadligare än större partiklar. Det finns några olika anledningar till att de skulle kunna vara det. För det första kommer en större andel av de små partiklarna att deponera i alveolerna, och därmed försvinner de inte lika snabbt från lungan och det är också större risk att de tar sig vidare ut i blodet. Små partiklar har även en väldigt stor yta per massaenhet, och det är oftast på ytan som olika reaktioner sker som till exempel kan leda till att syreradikaler bildas. Den stora ytan kan också göra

att metaller som partikeln består av frisätts i högre utsträckning vilket kan leda till högre toxicitet.

Hur kan man använda toxikologi för att studera effekter av partiklar?

Vi är alla utsatta för en stor blandning av partiklar av olika storlekar och med olika sammansättning. Det gör att det i epidemiologiska studier kan vara svårt att ta reda på vilka partiklar som är mest skadliga och varför. Exempelvis är det svårt att studera effekten av olika storlekar om källan för stora och små partiklar är densamma, vilket gör att man alltid utsätts för båda samtidigt (till exempel partiklar från vägtrafik).

I toxikologiska studier har man möjlighet att renodla experimenten. Utifrån vetenskapen att



Foto: Adobe Stock

Nya typer av partiklar kan bland annat härstamma från nya typer av bränslen eller däck. Det är viktigt att kunna göra toxikologiska studier för att kunna förutspå effekterna av dessa nya exponeringar.

partiklar som orsakar inflammation, oxidativ stress och genotoxicitet är skadliga kan man helt enkelt odla celler från lungan och testa i vilken utsträckning sådana effekter triggas. Man kan också studera en rad andra mekanismer för att förstå mer om vilka typer av effekter partiklar kan orsaka. Exempelvis kan man odla epitelceller från insidan av luftvägarnas väggar, eller från alveolerna, samt immunceller som kan rekryteras till lungan när partiklar deponeras.

Ett vanligt tillvägagångssätt är att partiklar i olika storlekar samlas in på filter, partiklarna lösgörs sedan från filtret och blandas i cellmediet (vätskan som cellerna odlas i). Det går också att göra mer avancerad exponeringsteknik när partiklarna leds som en aerosol till celler som odlas i gränsskiktet mellan vätska och luft ("air-liquid interface") för att på så sätt försöka efterlikna en verklig situation. Efter det att cellerna har utsatts för partiklar kan en rad olika metoder användas för att studera de toxiska effekterna. Förutom att göra studier på odlade celler görs det också studier på djur, exempelvis råttor och möss.

Toxikologi för riskbedömningar av "nya" partikeltyper

Det är väldigt viktigt att kunna göra toxikologiska studier på djur och celler för att kunna förutspå effekter av nya exponeringar (till skillnad från epidemiologi som bara kan användas när hälsoeffekter redan har uppstått). En sådan "ny" exponering kan exempelvis vara olika tillverkade nanopartiklar eller partiklar som bildas från nya typer av bränslen eller däck. I dag läggs det mer tyngd vid djurförsök jämfört med cellstudier vid riskbedömning av partiklar. I sådana studier utsätts djuren för partiklar, till exempel via inhalation, och man försöker utröna vid vilken dos olika effekter triggas. Dosen kan sedan räknas om till vilken dos det skulle vara för människor och vilken

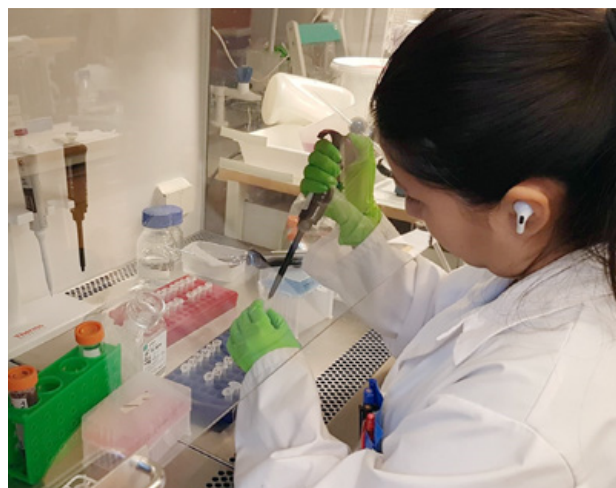


Foto: Hanna Karlsson

Genom toxikologiska studier där man odlar celler från lungan kan forskarna få en uppfattning om vilka typer av partiklar som är skadligast.

exponering som skulle behövas för att komma upp i motsvarande dos. Genom att även inkludera partiklar med kända effekter går det att få en uppfattning om hur skadliga de nya partiklarna är jämfört med de mer välkända. Det finns stora förhoppningar om att man i framtiden ska kunna förstå mer om hälsoeffekter genom att använda olika typer av datormodeller, till exempel för att förutspå vilken dos det kan bli i lungan och andra organ samt att på ett effektivare sätt använda olika cellstudier.

Text & kontakt:

Hanna Karlsson, Karolinska institutet
hanna.l.karlsson@ki.se

Lästips

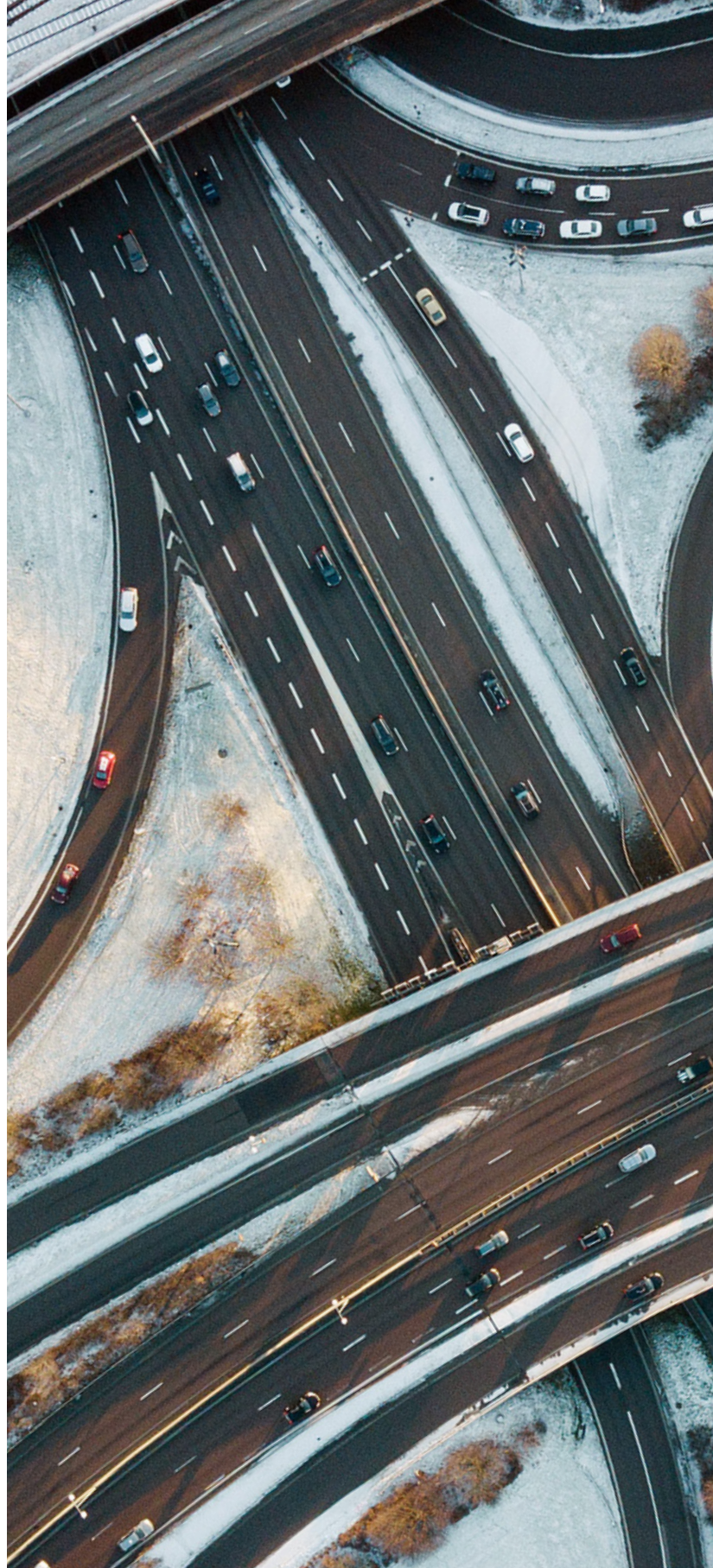
Stone, V. et al (2017). Nanomaterials versus ambient ultrafine particles: an opportunity to exchange toxicology knowledge ([nih.gov](https://www.nih.gov))

Nationell plattform för nanosäkerhet ([ki.se](https://www.ki.se))

Trafiken – ett miljöproblem som rullar på

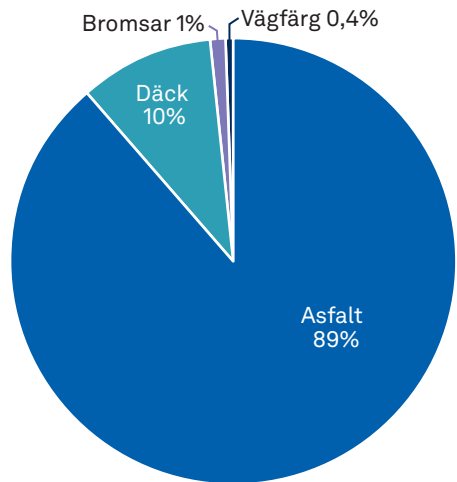
I dag står slitaget av vägar, däck och bromsar för 44 procent av Sveriges totala årliga utsläpp av inandningsbara partiklar (PM₁₀). Slitage av däck bedöms dessutom vara den största källan till mikroplast. Är den pågående elektrifieringen lösningen, eller skapar den bara andra problem?

I Sverige har vi miljö kvalitetsnormer som har till syfte att skydda människors hälsa och vår miljö. I de fall en miljö kvalitetsnorm överskrids behöver ett åtgärdsprogram tas fram, enligt 5 kap. 7 § miljöbalken. Vi har dessutom 16 miljö kvalitetsmål som ska styra samhällets miljöarbete mot en mer hållbar framtid. I dagsläget har vi svårt att uppfylla miljö målen, och den senaste uppföljningen visade att vi endast når upp till 1 av 16 mål. Målen handlar bland annat om frisk luft, giftfri miljö och begränsad klimatpåverkan, där vägtrafiken är en viktig anledning till att målen inte nås.



Figur 1. Uppskattat årligt slitage i trafiken

Sveriges ungefärliga årliga utsläpp av slitagepartiklar uppdelat på partiklar från asfalt, däck, bromsar och vägfärg.



■ Asfalt, 100 000 ton ■ Däck, 11 000 ton
■ Bromsar, 600 ton ■ Vägfärg, 500 ton

Källa: Järleskog, I. 2022. Occurrence of traffic-derived microplastics in different matrices in the road environment.

När man kör på en asfaltsväg slits både vägen och däck och bildar slitagepartiklar. Störst slitage blir det vid barmark under vintern, när dubbdäck används. Sedan 1970-talet, när dubbdäck introducerades, har asfalt, däck och dubbar utvecklats för att minska slitaget. Trots det nöts ungefär 100 000 ton asfalt bort i Sverige varje år. Förutom att det kostar stora summor att ersätta asfalten ger slitaget även upphov till PM₁₀ (inandningsbara partiklar, mindre än 10 mikrometer) som påverkar vår hälsa negativt.

Vart tar partiklarna vägen?

Efter att slitagepartiklarna bildats hamnar de antingen på vägytan eller virvlar upp i luften och försämrar vår luftkvalitet. När det regnar sköljs en del av partiklarna bort från vägen och ner i dagvattenbrunnar och diken. Där kan de antingen fastna i jordlager, eller sediment, eller fortsätta sin färd mot vattendrag, sjöar och hav. Är vägen fuktig eller frusen (vilket den ofta är under vinterhalvåret) fastnar partiklarna på vägytan. När vägen sedan torkar upp under torra och

Figur 2. Slitagepartiklarnas spridningsvägar

Förenklad illustration av slitagepartiklarnas spridningsvägar. Efter att partiklarna har bildats kan de antingen virvla upp i luften, stanna på vägytan, hamna i den närliggande omgivningen eller transporteras vidare till vattendragen.

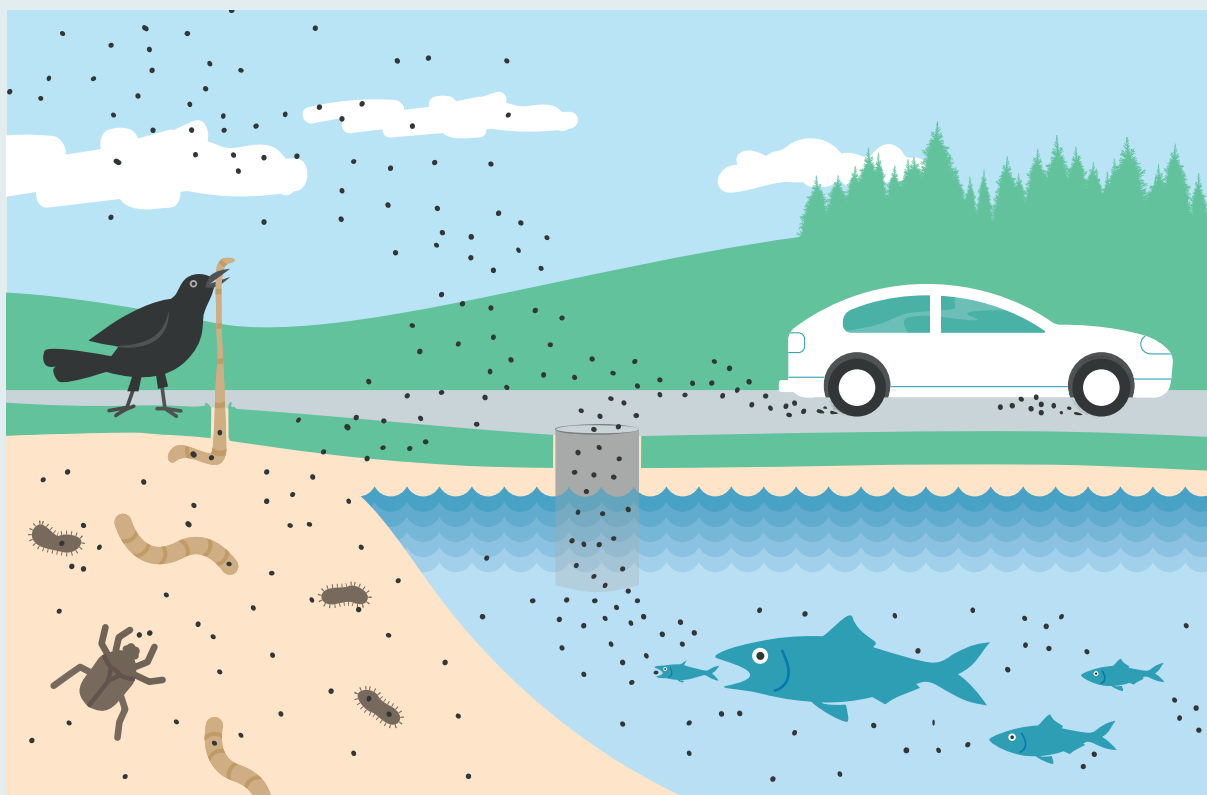


Illustration: Petra Wikström

soliga vårdagar kommer trafiken att virvla upp partiklarna i luften. Därför får vi ofta höga partikelhalter längs gator och vägar på våren.

För att förhindra att partiklarna virvlar upp används gatustädning för att sopa bort dammet, eller dammbindning för att hålla vägen fuktig längre. Vägens textur, det vill säga hur rå ytan är, kan påverka hur mycket vägdamm som fastnar i asfalten, men även hur effektiv städningen blir. I asfalt med grov textur fastnar det generellt mer vägdamm än på asfalt med fin textur och dammet kan då vara svårare både att virvla upp och städa bort.

Däckslitage största källan till mikroplast

När vi åker bil slits däcken och bildar små partiklar som framför allt består av gummi (naturligt och syntetiskt), men även av utfyllnadsmaterial som till exempel mjukgörande oljor och förstärkningsmaterial. Däckslitage är uppmärksammat globalt som den största enskilda källan till mikroplast. I EU beräknas däckslitage till cirka 500 000 ton per år och i Sverige är slitaget cirka 11 000 ton per år, vilket är ungefär lika mycket som vikten på 1,1 miljoner personbilsdäck. När däckpartiklarna bildats på vägytan blandas de samman med partiklar från asfalt och bromsar, men även med partiklar från andra källor som hamnat på vägytan. Däckpartiklar har lång nedbrytningstid vilket gör att de kan påverka vår natur på ett negativt sätt under lång tid medan de ligger i jorden, i vattnet eller i sediment.

Bromsar släpper ut finare partiklar

Däck, men särskilt bromsar, slits mer per kilometer i tätorter, där korsningar, rondeller och tät trafik orsakar mycket acceleration, bromsning och däckvridning. När vi använder bilens bromsar bildas partiklar som generellt är mindre än andra slitagepartiklar och som innehåller relativt mycket metaller från bromsskivor och bromsbelägg.



Foto: Titus Kyrklund

Visste du att?

- Genom att införa dubbdäcksförbud på enskilda gator minskar dubbdäcksanvändandet och därmed minskar partikelutsläppen generellt.
- Vinterdäck slits generellt snabbare än sommardeck på grund av en mjukare gummiblandning.
- 2021 var ungefär 1% av Sveriges personbilar rena elbilar (3% om laddhybrider och elhybrider inkluderas). 18% av alla nya bilar som såldes var rena elbilar, 45% om alla laddbara fordon inkluderas.
- En elbil är i genomsnitt cirka 20% tyngre än en motsvarande fossildriven bil.
- Trafiken står för 47% av Sveriges utsläpp av PM₁₀. Av dessa är endast 6% relaterade till avgaser. Resten är slitagepartiklar.

Fordonsflottan förändras

Utsläppen av slitagepartiklar från vägtrafiken är i dagsläget helt oreglerade, medan utsläpp av partiklar från bilarnas avgaser regleras genom allt strängare utsläppskrav i de så kallade Euro-klasserna, EU:s indelning av fordon utifrån avgasutsläpp. Storleken på utsläppen av slitagepartiklar påverkas främst av trafikarbetet, det vill säga hur långt vi tillsammans kör våra bilar varje år, men även av fordonsparkens utveckling mot tyngre och elektrifierade fordon (se figur 3). Eftersom trafikarbetet ökar stadigt blir det en utmaning att samtidigt minska utsläppen av slitagepartiklar. I kommande Euro-reglering, Euro 7, föreslås gränsvärden finnas med för både partiklar från bromsar och från däck, och arbete pågår på internationell nivå för att skapa fungerande testmetoder som kan komma att användas för framtida reglering eller märkning.

Elektrifieringens betydelse för partikelutsläppen

Det ökande antalet elbilar har resulterat i minskande lokala utsläpp av koldioxid och hälsofarliga kväveoxider och avgaspartiklar, men fordonsvikten har ökat vilket sannolikt ökat slitagepartikelutsläppen, eftersom en

tyngre bil sliter mer på däck och vägar än en lättare bil. Elbilar kan även orsaka ett högre slitage på däcken på grund av ett högt vridmoment. Å andra sidan kan elmotorerna kontrolleras mer exakt, vilket kan användas för att begränsa vridmomentet för en mjukare acceleration vid exempelvis start. Elbilar använder motorbromsning för att ladda batteriet, vilket bidrar till en minskad användning av mekaniska bromsar och därmed reducerade utsläpp av bromspartiklar.

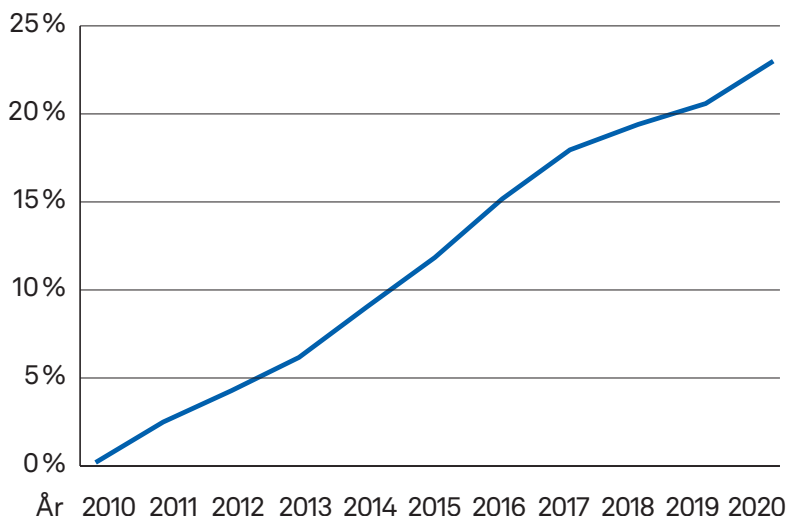
Eftersom utsläppen av slitagepartiklar inte minskar, ökar behovet av att bättre förstå deras hälsoeffekter. Generellt är dock

inandningsbara partiklar förknippade med negativa hälsoeffekter, och utsläpp bör begränsas. Erkänt farliga mjukgörande oljor har fasats ut ur däcken sedan 2010, och i bromsbelägg fasas koppar ut fram till 2025. Däckslitagetets betydelse för mikroplastutsläppen, och de eventuella miljöeffekter dessa kan ha, är något många forskare arbetar med.

Vad kan du göra för att minska utsläppen?

Elektrifieringen är positiv för utsläpp av avgaser, men löser inte problemen med slitagepartiklar. Av hänsyn till såväl

Figur 3. Procentuell viktökning hos den totala svenska personbilsparken 2010–2020



Källa: Trafikanalys, 2022.



Du kan göra skillnad

- Minska ditt bilåkande eller välj andra färdssätt såsom kollektivtrafik, cykel och gång.
- Kör mjukare, med EcoDriving och sänk hastigheten. Se till att däcken har rätt tryck och att hjulinställningen är korrekt.
- Använd dubb fria vinterdäck.
- Använd inte vinterdäck på sommaren, vare sig dubbade eller odubbade. Dubbdäck sliter upp asfalten, och odubbade vinterdäck slits snabbare och är inte lika säkra på sommarväglag.

hälsa som miljö behöver utsläppen av dessa partiklar minskas. Du kan göra mycket själv genom att anpassa hur och hur mycket du kör din bil och även hur du sköter den. Mjuk körning med lugna accelerationer och inbromsningar, liksom rätt däcktryck och hjulinställning, minskar däckslitage. Bromsarna slits mindre av samma typ av körning och genom ökad motorbromsning. Vägbeläggningar slits hundrafalt mer av dubbdäck än av odubbade vinterdäck. Att, om möjligt, åka kollektivt, cykla eller promenera är dock oslagbart effektivast om man vill bidra till lägre utsläpp från sina transporter.

Text & kontakt:

Ida Järtskog, VTI
ida.jarlskog@vti.se

Mats Gustafsson, VTI
mats.gustafsson@vti.se

Lästips

VTI:s information om vinterdäck (vti.se)

Mikroplast från däck- och vägslitage: en kunskaps-sammanställning. VTI rapport 1028 (diva-portal.org)

Fussel, J. et al (2022). A review of road traffic-derived non-exhaust particles: emissions, physicochemical characteristics, health risks, and mitigation measures | Environmental Science & Technology (acs.org)

Sommer, F. et al (2018). Tire abrasion as a major source of microplastics in the environment – Aerosol and Air Quality Research (aaqr.org)

Baensch-Baltruschat, B. et al (2020). Tyre and road wear particles (TRWP) – A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment (sciencedirect.com)

Järtskog, I. (2022). Occurrence of traffic-derived microplastics in different matrices in the road environment (diva-portal.org)

Småskalig vedeldning

– mysigt, men inte för alla

Att elda med ved har i alla tider varit en viktig del i svenska hushåll för uppvärmning, matlagning och trivsel. I dag eldas ved främst i enskilda hushåll i småskaliga pannor, kaminer och andra typer av eldstäder. Hushållens vedeldning är en stor källa till utsläpp av partiklar, men det finns sätt att begränsa utsläppen.

Sedan ett antal år tillbaka ser vi en ökning av antalet vedkaminer i tätbebyggda områden. Det är positivt med en ökande användning av förnyelsebar energi, både ur klimat- och beredskaps-synpunkt, men småskalig förbränning av biobränsle i bostäder är tyvärr samtidigt en stor källa till utsläpp av miljö- och hälsoskadliga luftföroreningar. Vedeldningen kan också ge upphov till störande och besvärande lukt hos grannar i närområdet. Hur stora utsläppen av olika föroreningar är skiljer sig kraftigt åt beroende på vilken typ av förbränningsteknik och bränsle som används och hur själva eldningen går till. Genom att elda med bra utrustning, rätt bränsle – och på rätt sätt – kan man minska utsläppen.

Vedeldningens effekter på hälsa och miljö

Utsläpp från hushållens vedeldning är en betydande källa till exponering för förbränningspartiklar i Sverige. Luftföroreningarna orsakar olika typer av negativa hälsoeffekter, till exempel luftvägssjukdomar, hjärt- och kärlproblem, lungcancer och andra besvär i andningsvägarna. Hälsoproblemen är ofta störst i tätbebyggda områden där det i många fastigheter eldas med ved eller pellets, men även en enskild fastighet kan ibland skapa stora problem för grannarna. Småskalig vedeldning är en stor källa till utsläpp av bens(a)pyren (BaP) och andra polycykliska aromatiska kolväten (PAH), och vi har en bit kvar för att nå miljömålet kring just BaP. I Sverige kopplas ett antal hundra förtida dödsfall per år till utsläpp av partiklar till omgivningsluften från småskalig vedeldning, och på europeisk nivå har motsvarande siffra uppskattats till cirka 40 000 dödsfall per år. Samtidigt finns det mycket som tyder på att saltpartiklarna, som kan dominera vid effektiv förbränning av biobränslen, har lägre hälsopåverkan per massenhet än sot, organiska och PAH-rika partiklar som ofta dominerar vid traditionell vedeldning.

Partikelutsläppen påverkar även jordens klimat och är en av de största osäkerheterna när vi uppskattar vår framtida klimatpåverkan. Det vi vet i dag är att sot, dvs. små svarta partiklar som bildas vid dålig förbränning, är en så kallad kortlivad klimatförorening som absorberar inkommande solstrålning och därmed har en värmande effekt på klimatet.

Utsläppen påverkas av typ av förbränningsanläggning ...

I Sverige finns i dag omkring 2 miljoner kaminer och kakelugnar (lokaleldstäder) och cirka 221 000 pannor som eldas med ved eller pellets. Vissa eldas bara några gånger om året, medan många vedpannor eldas varje dag för att ge huset värme och varmvatten. Moderna pannor och kaminer är generellt sett mer effektiva, mer robusta och har lägre utsläpp av partiklar, PAH och flyktiga organiska kolväten (VOC). Alla små vedanläggningar är dock relativt känsliga för bränslekvaliteten och handhavandet när man eldar, speciellt vedkaminer. Den största andelen av utsläppen från bostäder av PM_{2,5} och bens(a)pyren kommer från konventionella vedpannor, dock med stora skillnader mellan äldre pannor (utan ackumulatortank) och nyare moderna system. Lokaleldstäder bidrar mer till utsläppen av sot, och även här orsakar äldre teknik oftast högre utsläpp, då nyare kaminer har bättre design av förbränningsutrymmet och lufttillförsel.

I Sverige har miljömärkt eldningsutrustning funnits tillgänglig under många år vilket bidragit till minskade utsläpp i takt med att äldre utrustning bytts ut. Inom EU har nyligen också strängare lagkrav som reglerar utsläppen från nya fastbränsleanläggningar införts. Dessa så kallade ekodesignkrav sätter minimigränser för anläggningens energieffektivitet och maxgränser för utsläpp av ett antal luftföroreningar, bland annat partikelmassa och gasformiga kolväten. Kraven varierar beroende på typ av anläggning, från 2020 infördes krav för fastbränslepannor (till exempel ved- och pelletspannor) och från 2022 för lokaleldstäder (till exempel kaminer och kakelugnar).

... av bränsletyp ...

Vid eldning av träpellets kan förbränning ske under betydligt mer kontrollerade och konstanta förhållanden, genom att man har bättre kontroll på bränslets kvalitet och tillförsel samt möjligheter att styra lufttillförseln. Förbränningen sker då med en kontrollerad låga vid hög temperatur och god syretillgång, vilket kraftigt reducerar utsläppen av PM_{2,5}, sot, PAH och gasformiga kolväten. När man mäter utsläpp från moderna pelletspannor och -kaminer kvarstår dock vissa partikelutsläpp, om än oftast i relativt låga halter. Dessa partiklar domineras av salter som bildas vid förbränningen, till exempel kaliumklorid och kaliumsulfat. Det är dock inte vid alla tillfällen som förbränningen är helt optimal även med pelletseldning, till exempel vid varierade driftsförhållanden, låg last (exempelvis vid lågt värmebehov) och vid dålig kvalitet på pelletsbränslet.

... och av handhavande

Utsläppen bestäms också av hur man eldar. Den mest effektiva förbränningen sker när bränslet är tillräckligt torrt och det finns bra lufttillförsel, hög temperatur och tillräcklig tid för alla oförbrända ämnen att brinna upp i flammen. För både pannor och kaminer leder så kallad pyreldning till att utsläppen av partiklar ökar kraftigt. Det sker ofta vid eldning på låg effekt med strypt lufttillförsel (ibland helt utan flammande förbränning) eller när veden är för fuktig, dvs. mer än 20 procents fukthalt. Röken vid sådan eldning har ofta ett gul-brunt skimmer och en stark karakteristisk rökdoft, där partiklarna domineras av en komplex blandning av organiska ämnen. I båda fallen kan utsläppen av partiklar vara flera gånger högre än vid god förbränning.

I de fall när veden tänds upp snabbt och förbränns med hög temperatur och under god syretillgång är $PM_{2,5}$ -utsläppen ofta som lägst. Sot bildas visserligen i alla flammor från fasta bränslen, men ofta kan huvuddelen av det bildade sotet oxideras (förbrännas) bort när sotet möter luften runt flammen vid hög temperatur. I småskaliga anläggningar, främst vid konventionell vedeldning, är dock förbränningen inte lika effektiv och flammorna kyls av innan sotet hinner oxideras och i stället släpps ut med rökgaserna. Om röken som går ut genom skorstenen är kraftigt svart är det ett tecken på att utsläppen av sot också är höga.

Förbränningen kan även gå för snabbt, till exempel när alltför torr ved eldas i stora mängder. Det kan då bildas stora mängder brännbara gaser som inte hinner förbrännas i flammen innan rökgaserna kyls av i värmeväxlare och skorsten. Även om torr ved generellt sett är bra, så måste förbränningshastigheten anpassas utifrån hur mycket luft som tillförs. Framför allt i kaminer, men även i en del pannor, kan detta vara ett vanligt problem som kan leda till mycket kraftigt förhöjda utsläpp av PAH och sot under korta perioder.

Utsläppen från småskalig vedeldning är svåra att beräkna

Eftersom utsläppen från småskalig vedeldning är starkt beroende av många olika faktorer är det svårt att beräkna hur stora utsläppen är. För att beräkna Sveriges totala utsläpp från småskalig vedeldning behöver man veta hur mycket av vilken typ av bränsle som eldas, i vilken typ av anläggning och hur eldningen sker.

Dessutom kan det vara stor skillnad på utsläppen beroende på hur man mäter. En del av de organiska gaserna i röken kondenserar nämligen när röken späds ut och kyls av. Det är fortfarande oklart om dessa kondenserbara partiklar ska räknas med när utsläppen rapporteras och olika länder gör på olika sätt. Vissa länder baserar utsläppsberäkningarna på mätningar där man samlar in partiklarna medan röken är varm, i andra länder låter man röken kylas ner. Detta har lett till stora osäkerheter när man gör modeller över spridning av $PM_{2,5}$ i atmosfären och bidraget från småskalig vedeldning.



Foto: Adobe Stock

Sveriges totala utsläpp minskar i framtiden

I takt med att partikelutsläpp från andra sektorer minskar utgör utsläppen från vedeldning en allt större andel av Sveriges totala partikelutsläpp. Men prognoser för framtida utsläpp av luftföroreningar visar på minskade utsläpp även från biobränsleförbränning i bostäder fram till 2030. Den viktigaste åtgärden för att lyckas uppnå detta är att byta ut äldre konventionella vedpannor mot nya moderna pannor (ved- eller pellets-), eller att skifta till andra typer av uppvärmning såsom fjärrvärme eller värmepumpar. Samtidigt som Sveriges utsläpp från småskalig vedeldning ser ut att minska så har antalet lokaleldstäder ökat kraftigt de senaste 10–20 åren, vilket kan leda till lokala problem med miljö och hälsa.

Vad kan du göra för att minska utsläppen?

För vedeldade system kan man alltså genom sitt sätt att elda bidra till att minska utsläppen ganska mycket. Hur du eldar och hanterar bränslet spelar då en viktig roll för vad som släpps ut och hur stora utsläppen blir. Vid nyinstallation bör du alltid välja miljöcertifierade produkter som klarar gällande utsläppskrav samt rådfråga din kommun och sotare kring vad som gäller för just ditt område. För moderna vedpannor, som i sig är väsentligt bättre än äldre pannor, är en av de viktigaste åtgärderna att ha en rätt dimensionerad ackumulatortank, dvs. en vattentank som lagrar den energi som skapats vid eldningen i form av varmvatten. Det finns även tekniker på marknaden i dag för att rena rökgaserna i småskaliga förbränningsanläggningar, till exempel små anpassade elfilter och katalysatorer. Om och hur kraven på sådan teknik kommer att integreras i framtidens pannor och kaminer, är i dag inte klarlagt. När väl utrustningen är på plats är det viktigt att följa tillverkarens eldnings-

rekommendationer samt att bara använda kliven och torkad ved. Lagom torr ved har lagrats kliven utomhus under tak i minst ett år och sedan maximalt någon vecka inomhus före användning. Följer du dessa rekommendationer blir eldandet mysigt inne i huset – utan att påverka grannar och miljö i omgivningen.

Text & kontakt:

Christoffer Boman, Umeå universitet
christoffer.boman@umu.se

Ingrid Mawdsley, IVL Svenska Miljöinstitutet
ingrid.mawdsley@ivl.se

Joakim Pagels, Lunds universitet
joakim.pagels@design.lth.se

Lästips

Naturvårdsverkets information om vedeldning (naturvardsverket.se)

Elda rätt – film (naturvardsverket.se)

Tänd i toppen – broschyr (naturvardsverket.se)

Tänd i toppen – film (naturvardsverket.se)

Kindbom, K. et al (2017). Emission factors for SLCP emissions from residential wood combustion in the Nordic countries: Improved emission inventories of Short Lived Climate Pollutants (SLCP) (diva-portal.org)

Nielsen, I.E. et al (2017). Time-resolved analysis of particle emissions from residential biomass combustion – emissions of refractory black carbon, PAHs and organic tracers (sciencedirect.com)

Nyström, R. et al (2017). Influence of wood species and burning conditions on particle emission characteristics in a residential wood stove (acs.org)

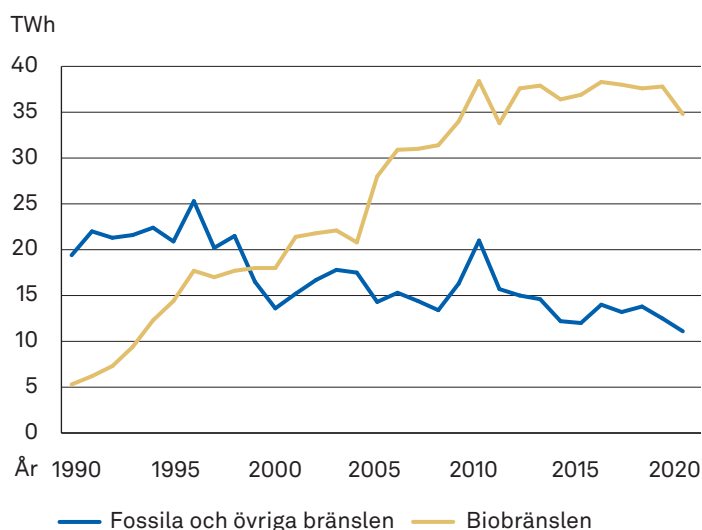
Sigsgaard, T. et al (2015). Health impacts of anthropogenic biomass burning in the developed world (nih.gov)

Mer biobränsle i fjärrvärmem – bara bra eller finns det målkonflikter?

Under de senaste decennierna har användningen av biobränsle i energiproduktionen ökat medan användningen av fossila bränslen har minskat. Byte från fossila bränslen till biobränsle minskar de fossila koldioxidutsläppen och är ett led i att minska klimatpåverkan från värmeproduktionen. Men förbränning av biomassa orsakar fortfarande utsläpp av luftföroreningar som kan vara skadliga för miljön och hälsan, inte minst mycket små partiklar.

Andelen biobränslen i fjärrvärme-
produktionen har ökat kraftigt de
senaste decennierna och utgör i dag
cirka 75 procent av den totala
bränsleanvändningen, jämfört med
cirka 20 procent år 1990 (se figur 1).
Detta har dock lett till en risk för
en motsättning mellan Sveriges
klimatmål och miljömålet Frisk
luft. Förbränning av biobränslen,
exempelvis träpellets, skogsflis och
ved, orsakar icke-fossila koldioxid-
utsläpp och utsläpp av luftförore-
ningar som kväveoxider, kolväten,
sot och andra partiklar. Generellt
leder förbränning av biobränslen
till högre halter av kväveoxider och
partiklar i rökgaserna än till
exempel förbränning av olja
i fjärrvärmepannor.

Figur 1. Bränslen inom fjärrvärmeproduktion 1990–2020



Källa: Energiläget i siffror 2022, Energimyndigheten.

Lagstiftning för värme- och kraftvärmeverk*

Förbränningsanläggningars utsläpp regleras på olika sätt, genom olika förordningar beroende på bland annat anläggningens storlek, genom eventuella utsläpps begränsningar i anläggningens miljötillstånd och för vissa anläggningar även av begränsningsvärden via BAT-slutsatser (Best Available Technology). Begränsningsvärdena är i regel striktare ju större en anläggning är och beror även på andra faktorer såsom drifttid, anläggningstyp och bränsletyp.

Stora värme- och kraftvärmeverk med en installerad tillförd effekt på 50 MW eller mer regleras av förordning (2013:252) om stora förbränningsanläggningar.

Medelstora värme- och kraftvärmeverk med en installerad tillförd effekt på 1 till 50 MW regleras av förordning (2018:471) om medelstora förbränningsanläggningar. Det är primärt under denna förordning som närvärmesektorns utsläpp regleras. Förordningen gäller sedan 2020 för nya anläggningar och från 2025 respektive 2030 även för befintliga anläggningar (beroende på effekt).

Fastbränslepannor med en effekt på upp till och med 0,5 MW regleras sedan 2020 av EU:s ekodesignförordning (2015/1189/EU) för fastbränslepannor, vilket innebär att en liten del av närvärmepannorna faller under denna lagstiftning.

*Vid kraftvärmeverk produceras både el och värme medan det vid värmeverk endast produceras värme.

Utsläppskrav kan minimera målkonflikter

Förbränningstekniken, förbränningsförhållanden och vilken typ av bränsle som används avgör hur stora partikelutsläppen från biomassaförbränning blir och vilka egenskaper partiklarna får. Användning av gasformiga (biogas) och flytande (biooljor) bränslen, ger generellt sett mycket bra möjligheter att optimera förbränningen med låga utsläpp av oförbrända ämnen som kolväten och sot, som ingår i partiklarna. När det gäller fasta biobränslen är det oftast fördelaktigt att använda sig av förädlade bränslen (till exempel pellets och briketter) av hög och jämn kvalitet, som ger goda förutsättningar för effektiva system med låga utsläpp.

Om reningsutrustning finns installerad, exempelvis elfilter eller cykloner för partikelavskiljning, fångas en del av partikelutsläppen upp innan rökgaserna släpps ut i omgivningen. Förmågan att rena rökgaserna varierar dock mycket för olika renings tekniker, där cykloner endast avskiljer grövre partiklar medan mer avancerad teknik (till exempel elfilter och textfilter) behövs för att fånga in de mindre partiklarna. Med utsläppskrav som leder till att effektiv förbränningsteknik och reningsutrustning införs kan utsläppen av luftföroreningar därmed hållas på en låg nivå, vilket leder till att konflikter mellan klimatmål och luftkvalitetsmål kan minskas.

Risk för större partikelutsläpp från närvärme

Stora värmeverk som producerar värmeenergi till fjärrvärmenäten har i regel strikta krav när det gäller utsläpp till luft, vilket gör att de till exempel har mycket effektiv reningsutrustning för partiklar. I stora anläggningar finns också möjligheter att i framtiden införa olika former av biogen koldioxid-avskiljning och lagring, så kallad Bio-CCS, vilket skapar möjligheter för ett system med förnyelsebar produktion av värme och el där man ”renar”

atmosfären från koldioxid och uppnår så kallade negativa växthusgasutsläpp. Hur Bio-CCS-utsläppen påverkar partikelutsläppen är dock inte helt klarlagt, de kan dock påverkas både positivt och negativt beroende på vilken typ av CCS-teknik som används.

Mindre förbränningsanläggningar som producerar värme till ett begränsat antal konsumenter, så kallade närvärmeanläggningar, har i dagsläget inte lika strikta utsläppskrav. De minsta närvärmeanläggningarna eldar främst med torkade förädlade bränslen, vanligen pellets och briketter, medan de större värme- och kraftvärmeanläggningarna främst eldar med fuktiga, oförädlade bränslen som skogs-

avfall. Närvärmeanläggningar har som regel ingen partikelreningssystem, utöver möjligen en cyklon. De saknar även avancerade styrsystem, vilket gör dem mer känsliga för driftsstörningar, och de är oftast inte kontinuerligt bemannade, vilket innebär sämre övervakning och kontroll. Sammantaget innebär det att det biomassa-baserade närvärmesegmentet är extra känsligt för driftsstörningar och förändringar i bränslekvalitet och i dagsläget även har svårt att klara striktare utsläppskrav.

Under de senaste decennierna har allt fler närvärme pannor gått över från fossil eldningsolja till fasta biobränslen, men det finns fortfarande stora

Närvärme

Närvärmeanläggningar är mindre värmepannor som ligger utanför fjärrvärmenäten och försörjer mindre samhällen, delar av städer, större fastigheter eller industrier med värme. Anläggningarna har en kapacitet på 100 kW upp till 10 eller max 20 MW och försörjer konsumenterna med värme genom samma princip som fjärrvärme. Vatten hettas upp i förbränningsanläggningen som leds ut till konsumenten där värmen tas upp antingen direkt eller indirekt via värmeväxlare. Det avkylda vattnet leds sedan tillbaka till närvärmeanläggningen. Det finns flera hundra närvärmeanläggningar i Sverige och de kan till exempel ägas av ett lantbruk, en industri eller ett energibolag. Majoriteten av närvärme pannorna är så kallade rosterpannor med inslag av ett mindre antal så kallade pulverpannor samt brännare för bioolja.



Foto: Bionär närvärme AB

Närvärmeanläggning med pelletspanna (150 kW) och cirka 20 m² solpaneler i Gävle kommun. Solpanelerna täcker värmebehovet sommartid.



Foto: Bollnäs Energi

Värmeverk med två biobränslepannor (1,7 MW respektive 2,5 MW med rökgaskondensering på 0,7 MW) i Arbrå, Bollnäs kommun. Verket har dessutom oljepannor för spets- och reservkraft.

osäkerheter och brist på information kring de faktiska utsläppen från olika typer av närvärmeanläggningar och hur de bidrar till de totala utsläppen på nationell nivå.

Alternativa källor till biobränsle ställer nya krav

Sammantaget är det bra för klimatet, på lite längre sikt, med en övergång från fossila bränslen till hållbara biobränslen inom fjärr- och närvärme-sektorn. Men för utsläppen av partiklar och aspekter kring luftkvalitet är frågan mer komplicerad och närvärmeanläggningar utgör en särskild risk i sammanhanget. Det är därför viktigt att dessa anläggningar använder hållbart producerat biobränsle av hög kvalitet, har hög driftsprestanda och låga utsläpp av luftföroreningar. Biobränslen från skogen kan vara flis, bark, pellets, briketter och timmervod.

Inom det kommersiella skogsbruket och skogsindustrin används främst restprodukter från skogsnäringen för energiändamål. För närvärme föredras biomassa av jämn och hög kvalitet, till exempel med låg askhalt, i och med att man då kan uppnå och hålla bättre förbränningsförhållanden. Redan i dag, men ännu mer inom ramen för omställningen till ett hållbart (biobaserat) samhälle, är dock den här skogsråvaran eftertraktad för produktion av en rad produkter, material och kemikalier, inte minst vad gäller den rena stamvedsråvaran. Det gör i sin tur att man kan förvänta sig att andra, i dag mindre efterfrågade, billigare och möjligen mer problematiska sortiment av biobränslen från såväl skogen som andra sektorer kan komma att behöva användas för värme- och elproduktion. Detta kommer att ställa högre krav på såväl bränslehantering som förbränningsteknik och reningsteknik, för att klara framtida hårdare miljökrav vad gäller luftföroreningar, parallellt med andra hållbarhetsmål.

Fler energilösningar utan förbränning i framtiden

För att effektivt utnyttja tillgänglig biomassa och möjliggöra en biobaserad cirkulär ekonomi är det också viktigt att nyttja restprodukter från jordbruket och övrig industri. Det är även sannolikt att behovet av andra, icke-förbränningsbaserade, lösningar för värme- och elproduktion kommer att öka, till exempel spillvärme från industrin och en generell utbyggnad av andra hållbara energislag. Effekterna av sådana systemförändringar på utsläppen av luftföroreningar behöver noggrant utredas, men skulle troligen leda till positiva effekter på luftkvaliteten generellt, till exempel genom minskade utsläpp av partiklar till omgivningsluften.

Text & kontakt:

Christoffer Boman, Umeå universitet
christoffer.boman@umu.se

Ingrid Mawdsley, IVL Svenska Miljöinstitutet
ingrid.mawdsley@ivl.se

Lästips

Sammanställning förbränningsvägledning
(naturvardsverket.se)

Förbränningsanläggningar (naturvardsverket.se)

Industriutsläpp IED (naturvardsverket.se)

BAT-slutsatser för industriutsläppsverksamheter
(naturvardsverket.se)

Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering. Branschfakta
(naturvardsverket.se)

Genomförande av MCP-direktivet. Rapport 6765
(naturvardsverket.se)

ERA-NET Bioenergy Project FutureBioTec "Future low emission biomass combustion systems"
(diva-portal.org)

Partiklar förstör och smutsar ner

Partiklar i luften bidrar både till ökad korrosion och till nedsmutsning av material, med betydande kostnader som följd. Ytskydd kan hjälpa men den effektivaste åtgärden är att minska partikelutsläppen.

Korrosion bryter ner material, vilket gör att det kan förlora sitt estetiska värde eller sin mekaniska hållfasthet. En korroderad del av ett objekt medför ökad risk för oförutsedda haverier med antingen personskada eller höga kostnader som följd. Vanligtvis menar man med korrosion något som

drabbar metaller, men även plast och stenmaterial kan brytas ner. Partiklar kan både bidra till ökad korrosion och orsaka nedsmutsning av byggnader och kulturminnen. Smutsen är inte farlig i sig men bidrar till oönskad förfulning och ökade rengöringskostnader.



Partiklar som orsakar korrosion och nedsmutsning

Korrosion är ett samlingsnamn för många olika typer av nedbrytning som kan drabba material, till exempel elektrokemisk korrosion av metaller och kemisk nedbrytning av stenmaterial. Saltpartiklar av olika slag ökar korrosionen mest, men även andra partiklar bidrar. Oavsett kemisk sammansättning och struktur delar nästan alla partiklar en viktig egenskap, nämligen förmågan att dra åt sig fukt – de är mer eller mindre hygroskopiska. För korrosionen är detta en mycket viktig egenskap eftersom korrosion normalt bara sker i närvaro av fukt. Mer fukt orsakar mer korrosion, och därför bidrar nästan alla partiklar till korrosion, oavsett kemisk sammansättning.

Nedsmutsning är en visuell effekt där exponerade ytor blir mörkare på grund av luftföroreningar, främst mätt som PM₁₀ (partiklar mindre än 10 mikrometer). Ytorna för olika material ger olika intryck av smutsighet och har därför olika så kallade kritiska värden där smutsigheten är oacceptabel. Eftersom nedsmutsning i praktiken är en minskad förmåga för olika föremål att reflektera ljus är sot- och kolinnehållande partiklar de som bidrar mest till nedsmutsning.

Partiklar påverkar vårt kulturarv

En stor del av det svenska världsarvet utgörs av byggnader, från Gammelstads kyrkstad i norr till Örlogsstaden Karlskrona i söder. Partiklarna bryr sig inte om huruvida en byggnad är kulturmärkt eller inte, de orsakar lika stor skada oavsett. Däremot vill vi att dessa byggnader ska hålla under en lång tid framåt och därför kan det behövas speciella skyddsmetoder eller krav vid restaurering. Det är viktigt att alltid involvera kulturvårdare vid planering och genomförande av skyddsåtgärder för att se till att de speciella krav som ställs på omvårdnad av material och livslängd tillgodoses.



Foto: Adboe Stock

I kyrkobyggnader med öppna dörrar kan även inomhusföremål drabbas av partiklars effekter.

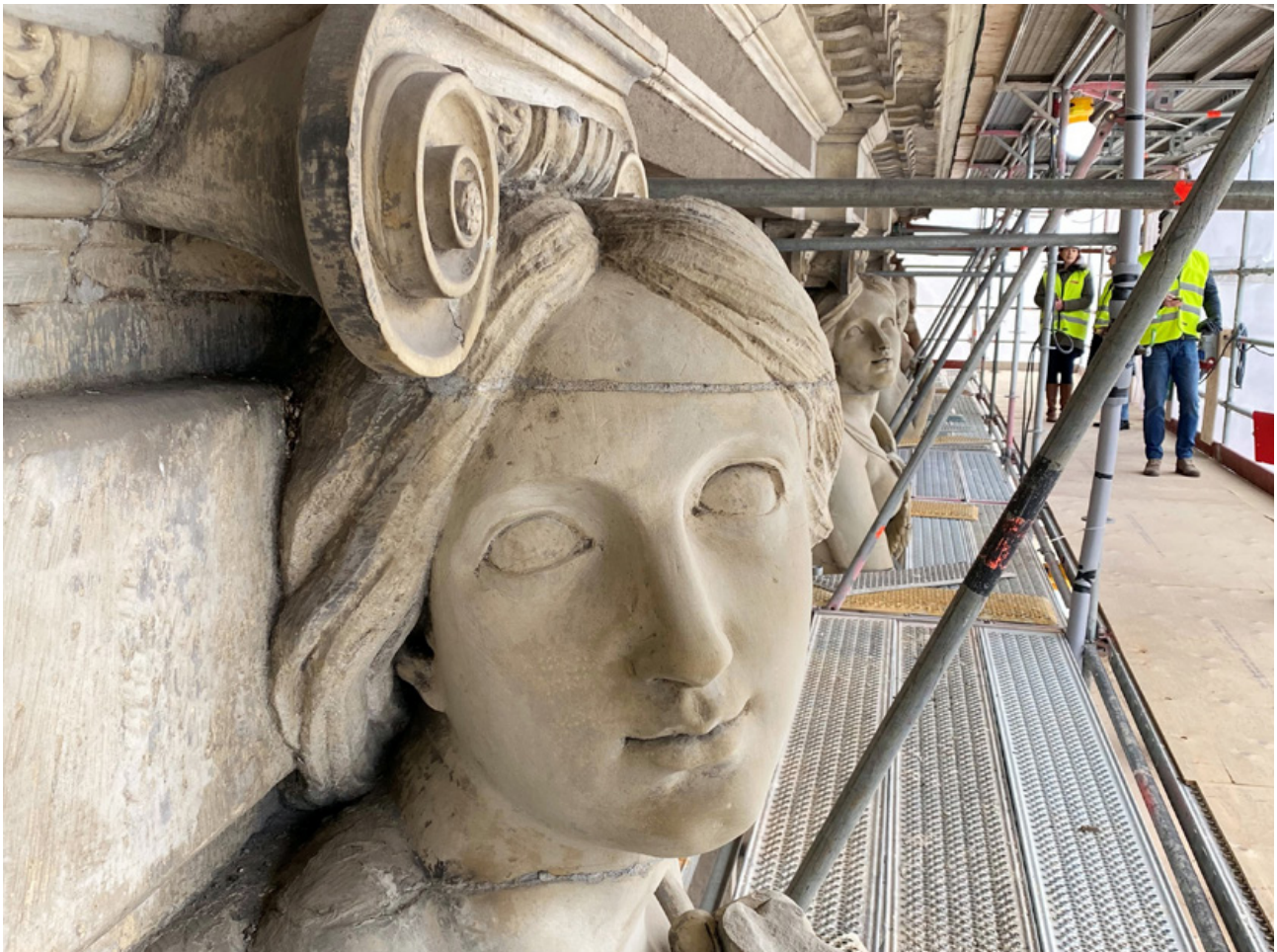
I första hand orsakar partiklar korrosion och nedsmutsning utomhus, på till exempel byggnader. Beroende på typ av hus, luftväxling och filtrering kan dock partiklarna även leta sig in i huset och orsaka skada. Ett exempel på detta kan vara kyrkobyggnader med öppna dörrar. I dessa fall kan även inomhusföremål drabbas av partiklars effekter. Egenskaperna hos partiklarna är då desamma, till exempel förmågan att dra åt sig fukt och därmed orsaka ökad korrosion.

Korrosion påverkar vår infrastruktur

Infrastruktur i anslutning till vägmiljö, till exempel broar och tunnlar, kan vara speciellt utsatta för partikelföroreningar, både vanliga partiklar som smuts och olika saltpartiklar. För korrosionen blir det då en extra farlig kombination av smuts och salt som tillsammans ökar korrosion och binder fukt.

Vanligt salt (natriumklorid) är det ämne som i Sverige numera orsakar mest korrosion. Saltpartiklarna binder fukt och dessutom är kloridjonen speciellt aktiv i korrosionsprocessen. Det finns två huvudkällor till salt – saltvatten nära kusten och vägsaltning.

Saltvatten nära kusten är av störst betydelse på västkusten där salthalten i vattnet är hög. Beroende



Kostnaden för att renovera nedsmutsade byggnader och kulturminnen är betydande, särskilt i större städer med många äldre byggnader.

Figur 1. Effektkedjemodell för kostnadsberäkning

Effektkedjemodell för att beräkna kostnad för effekt av luftföroreningar applicerad på nedsmutsning av byggnader. Utsläpp kvantifieras först med inventering och därefter beräknas spridning av partiklar till atmosfären med klimat- och luftföroreningsmodeller. Kopplingen mellan exponering och respons sker genom empiriska samband som kvantifierar graden av nedsmutsning som funktion av partikelhalt. Till sist beräknas kostnaden genom att kombinera kostnaden för renovering (till exempel ommålning) och det minskade underhållsintervall som blir konsekvensen av nedsmutsningen. Effektkedjemodellen är generell och kan tillämpas även för korrosion och för hälso- och naturmiljöeffekter.

Utsläpp/kg

Spridning

Exponering

Respons

Kostnad/kr

på vindhastighet och vindriktning kan saltbelastningen variera extremt mycket. Framför allt är det de närmaste milen vid kustlinjen som påverkas mest av salt, men vid extrema stormar kan salt transporteras stora sträckor inåt land.

Vägsaltning sker bara på vinterhalvåret och kan också variera mycket från år till år beroende på temperaturfördelningen i landet. Även på kortare sikt är det mycket svårt att förutse saltbelastningens och därmed korrosionens storlek eftersom saltningen ofta sker med kort varsel. Anledningen till detta är att effekten av salt blir mer effektiv och man behöver använda mindre av det om man sprider ut det i form av saltlösning precis innan ett snöfall.

Nedsmutsning kostar pengar

Det finns väl etablerade metoder för att beräkna kostnader för luftföroreningars effekter, oavsett om det gäller påverkan på hälsa, naturmiljö eller kulturmiljö. Dessa bygger vanligtvis på en så kallad effektkedja (se figur 1). Genom att koppla start (utsläpp) och slut (kostnad) i denna kedja är det möjligt att beräkna en kostnad i kr/kg utsläpp som kan användas för att jämföra olika typer av luftföroreningar och deras effekter.

Partiklar orsakar både korrosion och nedsmutsning men de senaste kostnadsberäkningarna har fokuserat på partiklars effekter på nedsmutsning eftersom effekten där är mer renodlad och lättare att kvantifiera. Dessutom visar trender att korrosionen har minskat avsevärt, vilket inte har skett med nedsmutsningen.

Förutom de geografiska skillnaderna på grund av saltets inverkan, kust-inland (saltvatten) och norr-söder (vägsaltning), är partikelhalterna generellt högre i de stora städerna än på landsbygden (se figur 2).

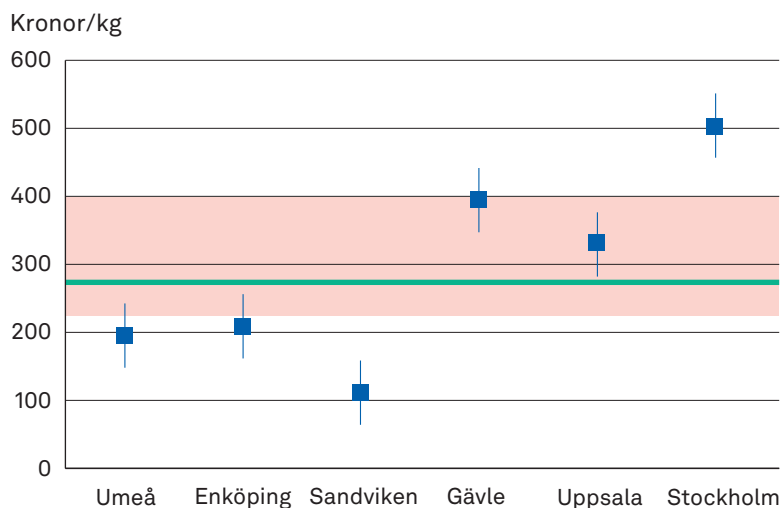


Foto: Adobe Stock

Saltvatten påverkar inte bara byggnader och föremål i den närmaste omgivningen utan kan även transporteras med vinden långa sträckor inåt land.

Figur 2. Kostnad för nedsmutsning på grund av utsläpp av partiklar i kr/kg PM₁₀

Kostnaderna för nedsmutsning är generellt sett större i stora städer. Den gröna linjen visar riksmedelvärdet när det gäller kostnader för nedsmutsning med det röda bandet som ett osäkerhetsintervall.



Källa: Trafikverket.

Kostnaden för nedsmutsning kan variera från 100 kr/kg partiklar i mindre städer till 500 kr/kg i Storstockholm. Anledningen till att kostnaden för nedsmutsning (per kg) är större i storstäder är att det finns fler byggnader som påverkas vilket innebär att en större andel av partiklarna bidrar till nedsmutsningen. Extremfallet är att andra hållet är om man släpper ut partiklar i ett område som inte innehåller några byggnader alls eller andra objekt som smutsas ner. Då blir det ingen kostnad för

nedsmutsning (men däremot kan partiklarna orsaka andra typer av skador på till exempel naturmiljön).

I samma studie som figur 2 baseras på beräknades motsvarande riksnivå för hälsoeffekter till cirka 1 100 kr/kg medan kostnaderna för naturmiljöeffekter var betydligt lägre än både hälsoeffekter och kostnader kopplade till nedsmutsning. Hälsoeffekterna av partiklar är störst men kostnaderna för nedsmutsning är jämförbara och kommer inte långt efter.

Kan korrosion och nedsmutsning stoppas?

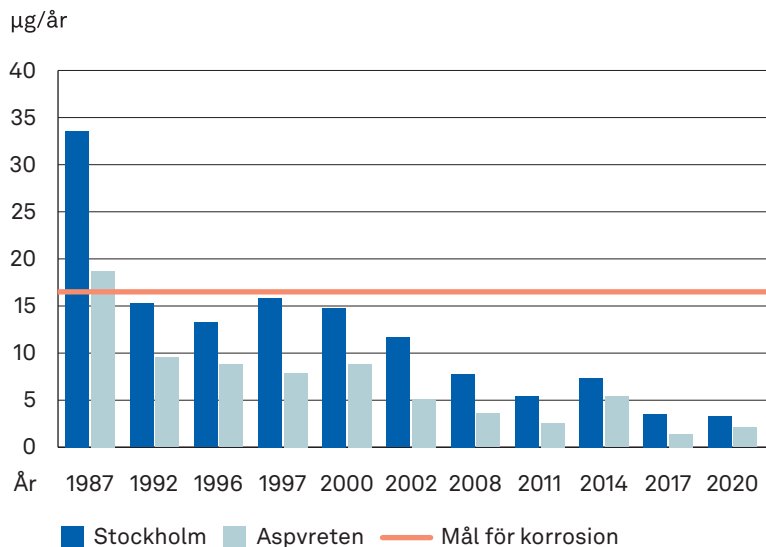
Det finns en mängd olika typer av korrosionsskydd och nedsmutsningsskydd beroende på material och miljö, och det krävs ingående kunskap om man vill få material att hålla över långa tider. För korrosion är ytskydd genom till exempel målning eller galvanisering ett vanligt skydd, och för nedsmutsning kan det vara olika behandlingar som påverkar ytegenskaper och förmågan för partiklar att fästa. För skydd av material i kulturminnen är valet av metoder mer begränsat och även kostnaden större. Det bästa korrosionsskyddet är dock att genom förebyggande åtgärder lokalt, regionalt och globalt minska partikelutsläppen. Detta har dessutom positiva effekter inte bara genom minskad korrosion och nedsmutsning utan även på hälsa, klimat och naturmiljö.

Vart är vi på väg?

Korrosionen är i dag på många ställen i Sverige betydligt mindre än den var för cirka 50 år sedan. Försurning och försurande luftföroreningar, främst svavel-dioxid, har länge bidragit till ökad korrosion i stadsmiljö, men genom internationellt samarbete är situationen i dag betydligt bättre (se figur 3). Under lång tid har dessa

Figur 3. Trend för korrosion av kolstål för stad

Trend för korrosion av kolstål för stad (Stockholm) och land (Aspvreten, Södermanland). Den horisontella linjen indikerar ett internationellt mål för korrosion av kolstål som bör uppnås senast 2050.



Källa: ICP Materials.

föroreningar minskat men på senare år har minskningen avstannat. Halterna av partiklar har inte minskat i samma grad och därför är nedsmutsning i städerna (se figur 4) och korrosion till följd av saltbelastning i kust- och vägmiljö fortfarande stora utmaningar.

För att nå önskad effekt, det vill säga en renare luft med minimala partikelhalter, är det viktigt att förstå att människors prioriteringar är olika. Vissa blir mer påverkade av risken för förlorad hälsa, andra av risken för

förlorade kultur- eller miljöupplevelser. Den svenska studien om kostnader för nedsmutsning visar att dessa är betydande och att de uppgår till cirka en tredjedel av motsvarande kostnader för hälsa. Att genomföra motsvarande studie i fler länder skulle vara önskvärt eftersom det finns en utbredd uppfattning internationellt, baserat på gamla undersökningar, att kostnader för korrosion och även nedsmutsning är försumbara.

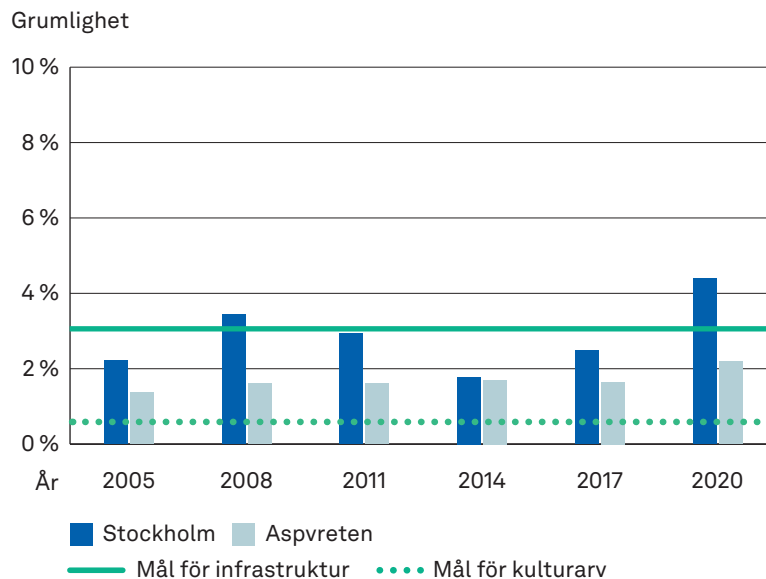
Text & kontakt:

Johan Tidblad, RISE,
Research Institutes of Sweden
johan.tidblad@ri.se

Namurata Pålsson, tidigare RISE,
Research Institutes of Sweden

Figur 4. Trend för nedsmutsning av glas för stad (Stockholm) och land (Aspvreten, Södermanland). De horisontella linjerna indikerar internationella mål för grumlighet av glas som bör uppnås senast 2050.

Trend för nedsmutsning av glas för stad (Stockholm) och land (Aspvreten, Södermanland). De horisontella linjerna indikerar internationella mål för grumlighet av glas som bör uppnås senast 2050.



Källa: ICP Materials.

Lästips

The international co-operative programme on effects on materials, including historic and cultural monuments – ICP Materials (ri.se)

Dokumentarkiv för analyser av transportekonomi, trafik, kapacitet och transportprognoser inklusive statistik – Underlag för reviderade ASEK-värden för luftföroreningar (trafikverket.se)

The convention on long-range transboundary air pollution (unece.org)

UNECE working group on effects – UNECE air convention (unece-wge.org)

The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe (emep.int)

Långväga transport av partiklar – spridningsmodellering ökar förståelsen

Små partiklar kan hålla sig svävande i luften under lång tid och transporteras väldigt långa sträckor. Med hjälp av spridningsmodellering kan vi bedöma var partiklarna kommer ifrån och vad de består av. Det gör det lättare att vidta rätt åtgärder för att begränsa effekterna på hälsa och klimat.

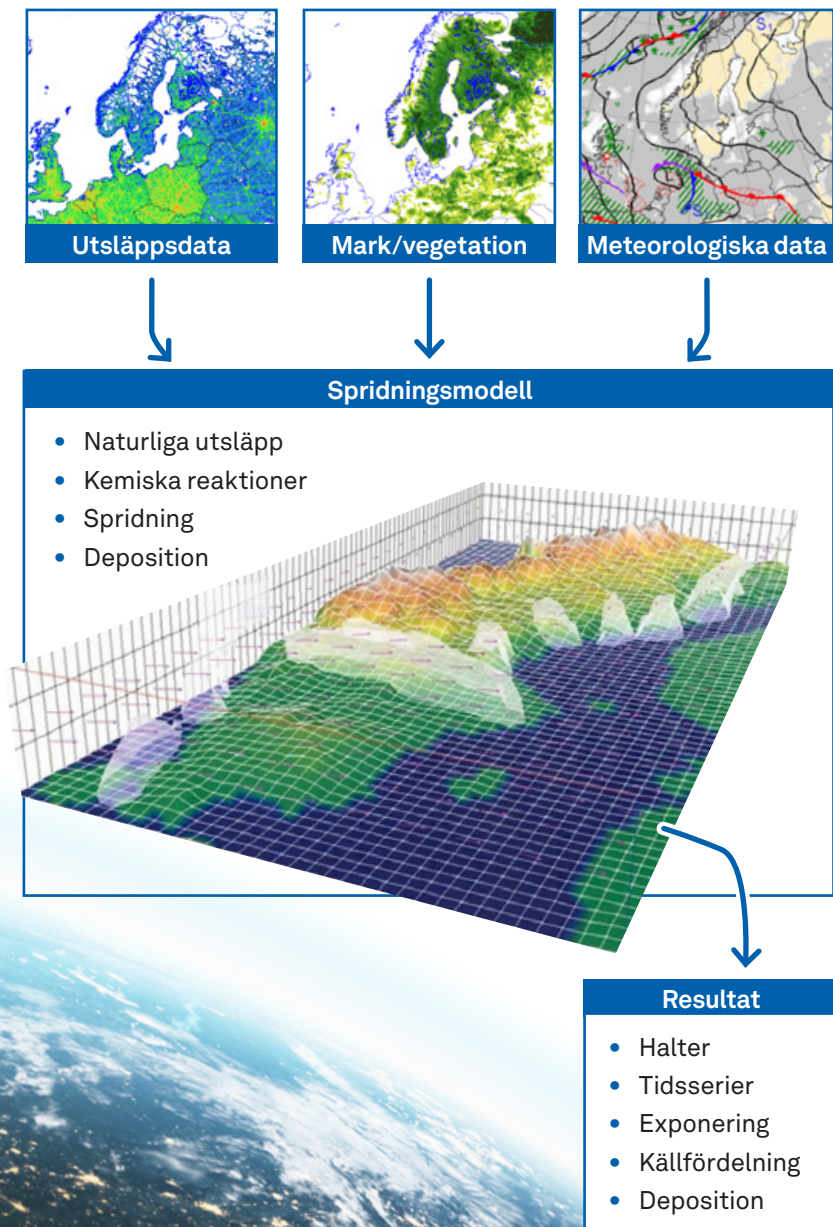
Partiklar i atmosfären kommer från många källor och kan bestå av en mängd olika ämnen med varierande egenskaper. Beroende på kemiskt innehåll och storlek har partiklar olika effekter på klimat, ekosystem och hälsa, och effekterna kan förändras när partiklarna omvandlas i atmosfären. Hur lång tid partiklarna stannar kvar i atmosfären beror på deras storlek och på väderförhållandena.

Små partiklar, och partiklar som lyfts till hög höjd, kan hålla sig svävande i luften under lång tid och kan transporteras mycket långa sträckor innan de försvinner från atmosfären. Storskaliga modeller används i prognos- och varningssystem för att förut säga långväga och gränsöverskridande transport av partiklar och andra luftföroreningar, både under normala förhållanden och vid speciella händelser.



Figur 1. En stor mängd data används i spridningsmodeller

Spridningsmodeller är beroende av en stor mängd indata för att beräkna luftföroreningshalter och nedfall till mark och vatten. Meteorologiska data, utsläppsdata och mark- och vegetationsinformation är exempel på viktiga indata.



Partikeleffekter på större skalor

Partiklar i atmosfären har många olika effekter förutom de på människors hälsa.

Exempel på andra storskaliga effekter:

- Partiklar bidrar till klimatpåverkan, både uppvärmande – till exempel ljusabsorption av mörka partiklar i atmosfären och på snö/isytor – och avkylande genom spridning av solljus.
- Partiklar har stor inverkan på molnbildning och molnegenskaper och kan påverka nederbörd genom att fungera som isbildningskärnor.
- Kväve- och svavelinnehållande partiklar bidrar till övergödning och försurning.
- Vulkanutbrott kan medföra flera olika typer av partikelutsläpp, ofta stora mängder svavel som leder till bildning av sulfatpartiklar med potentiellt stor klimatpåverkan och försurning; aska från vulkaner kan spridas långt och även påverka flygtrafiken.
- Partiklar kan ha stark påverkan på siktförhållanden – till exempel vid ökenstormar och storskalig spridning av jordbruksdamm, eller i samband med stora bränder.

Storskaliga spridningsmodeller

Med hjälp av spridningsmodeller kan halter av partiklar och andra luftföroreningar beräknas. Modellerna beskriver utsläpp av partiklar och ämnen som bildar partiklar, transport med vindar, kemisk omvandling och partikelbildning i atmosfären samt nedfall till vattenytor, mark och vegetation (se figur 1). Dessa modeller använder detaljerade väderdata, ofta hämtade från väderprognos- eller klimatmodeller. För realistisk modellering krävs god kvalitet även på andra indata till modellen – särskilt viktigt är en god beskrivning av utsläppen från olika källor. Modellerna kan användas för att bedöma var partiklar kommer ifrån och från vilka typer av utsläppskällor. I scenarioräkningar kan effekterna av olika förändringar av utsläpp eller klimat studeras.

Primära och sekundära partikelkällor

Partiklar kan antingen släppas ut direkt till luften (primära partiklar) eller bildas från gaser i atmosfären (sekundära partiklar). Såväl primära som sekundära partiklar kan komma både från naturliga och antropogena källor. På många platser består partiklarna av en blandning av olika primära och sekundära komponenter med olika ursprung (se figur 2 och 3).

Vägtrafik och vedeldning är viktiga källor till primära partiklar, men många andra utsläpp bidrar också. Några exempel på direkta utsläpp är sot- och askpartiklar från förbränningsprocesser, mineralpartiklar från industri, anläggningsarbeten, trafik, jordbruksmark och öknar samt saltpartiklar från hav och biologiska partiklar såsom växtfragment och pollen.

Sekundära partiklar kan innehålla både oorganiska svavel- och kväveföreningar och organiska ämnen. Betydelsefulla källor till oorganiska partiklar är bland annat ammoniakutsläpp från jordbruk, kväveoxider från fordonstrafik och



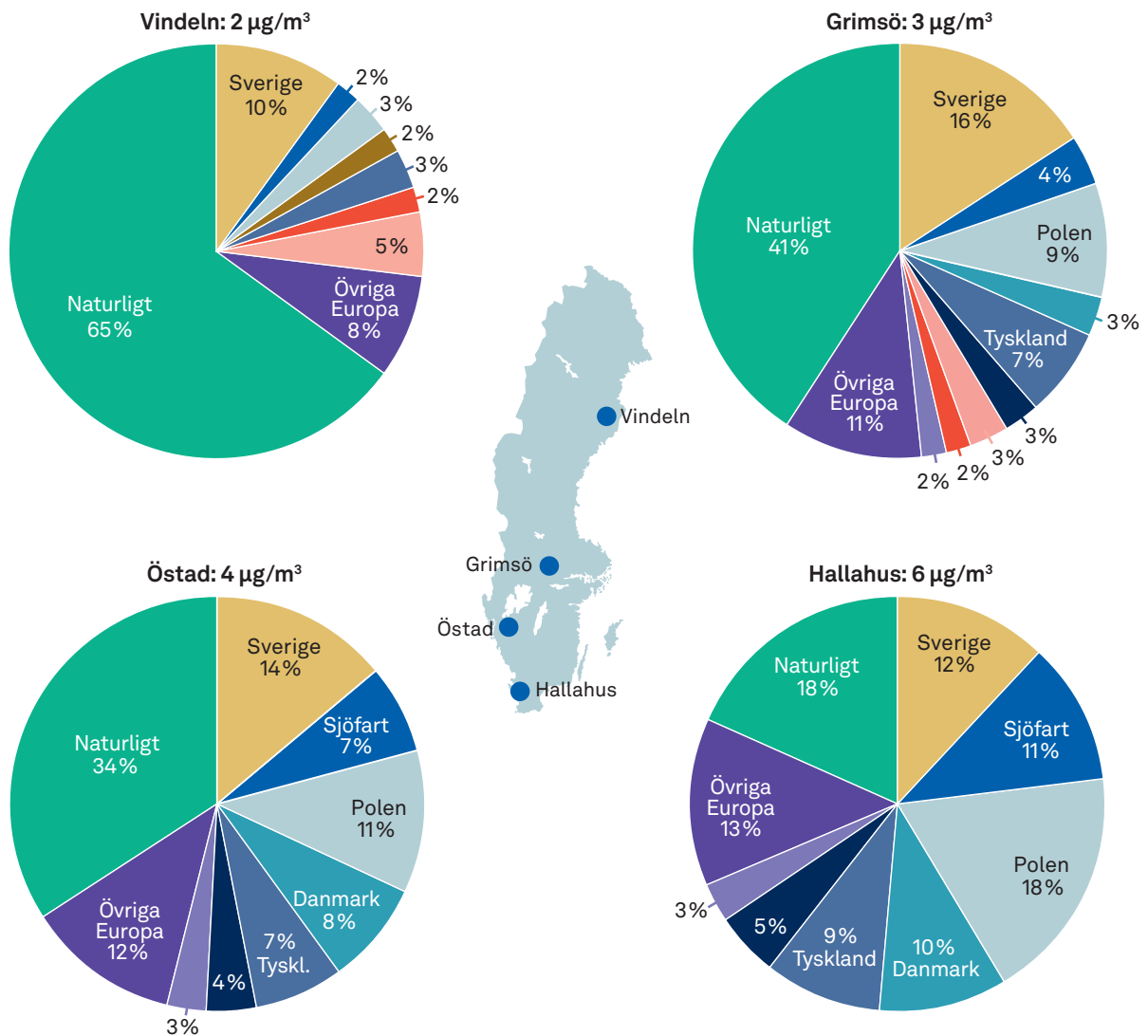
Långväga transport av luftföroreningar – FN:s luftvårdskonvention

Som en del av FN:s luftvårdskonvention (CLRTAP) görs modellberäkningar av långväga transport av luftföroreningar i Europa. Utsläpp av luftföroreningar från olika källor rapporteras in för de flesta länder som ingår i CLRTAP, och används i ett omfattande årligt arbete där land-till-land-transport av olika ämnen beräknas. På detta sätt kan man få en uppfattning om hur mycket till exempel partikelhalter i olika delar av Sverige påverkas av utsläpp i andra länder i Europa (se figur 2).

Modellberäkningar görs också för scenarier med förändrade utsläpp från olika källor i olika länder för att förutsäga vilka effekter detta skulle kunna ha på halter och deposition av luftföroreningar i olika delar av Europa. Baserat på resultat från dessa beräkningar, i kombination med kostnadsuppskattningar för olika möjliga åtgärder, kan så kallade integrerade beslutsstödsmodeller tas fram för att optimera utsläppsminskningar så att luftkvalitetsmål kan nås till så låga kostnader som möjligt. Dessa modeller används bland annat inom EU:s arbete med utsläppsminskningar och luftkvalitet.

Figur 2. Modellberäknad källfördelning för PM_{2,5}

Modellberäknade källområden/källor för regionala bakgrundshalter av PM_{2,5} på fyra platser i Sverige. Data för 2019 beräknade med EMEP MSC-W-modellen (emep.int). Relativa beräknade bidrag från naturliga källor, svenska källor, sjöfart och de enskilda länder vars utsläpp beräknas bidra mest till PM_{2,5} vid respektive plats visas (andelar i % av den totala beräknade årsmedelhalten). Som figuren visar ökar de naturliga källornas andel av partikelmassan längre norrut i landet.



förbränning, och svavelföreningar från förbränning av kol och olja samt vulkaner. Sekundära organiska aerosolpartiklar (SOA) bildas från flyktiga organiska ämnen (VOC) i atmosfären.

Två viktiga källor till både primära och sekundära partiklar är småskalig förbränning av fasta bränslen (ved, kol, torv) och skogs-, mark- och jordbruksbränder. Partiklar från dessa källor kan bidra till mycket höga halter lokalt men även transporteras långa sträckor.

Kondenserbara organiska ämnen – en utmaning för partikelmodellering

En viktig källa till partiklar är kondenserbara, eller halvflyktiga, organiska ämnen, som ofta släpps ut vid förbränning. Dessa ämnen kan finnas delvis i gasfas och delvis i partiklar; fördelningen beror på ämnets flyktighet och på temperaturen. Vid höga temperaturer, som till exempel i heta rökgaser, är de till nästan 100 procent i gasfas men efter

Figur 3. PM_{2,5}-sammansättning

Kemisk sammansättning för PM_{2,5} i regional bakgrundsluft på tre platser i Sverige. Diagrammen visar uppskattad årsmedelsammansättning för 2018 baserad på modellsimuleringar med EMEP-modellen (Visualization of EMEP Trends (met.no)).

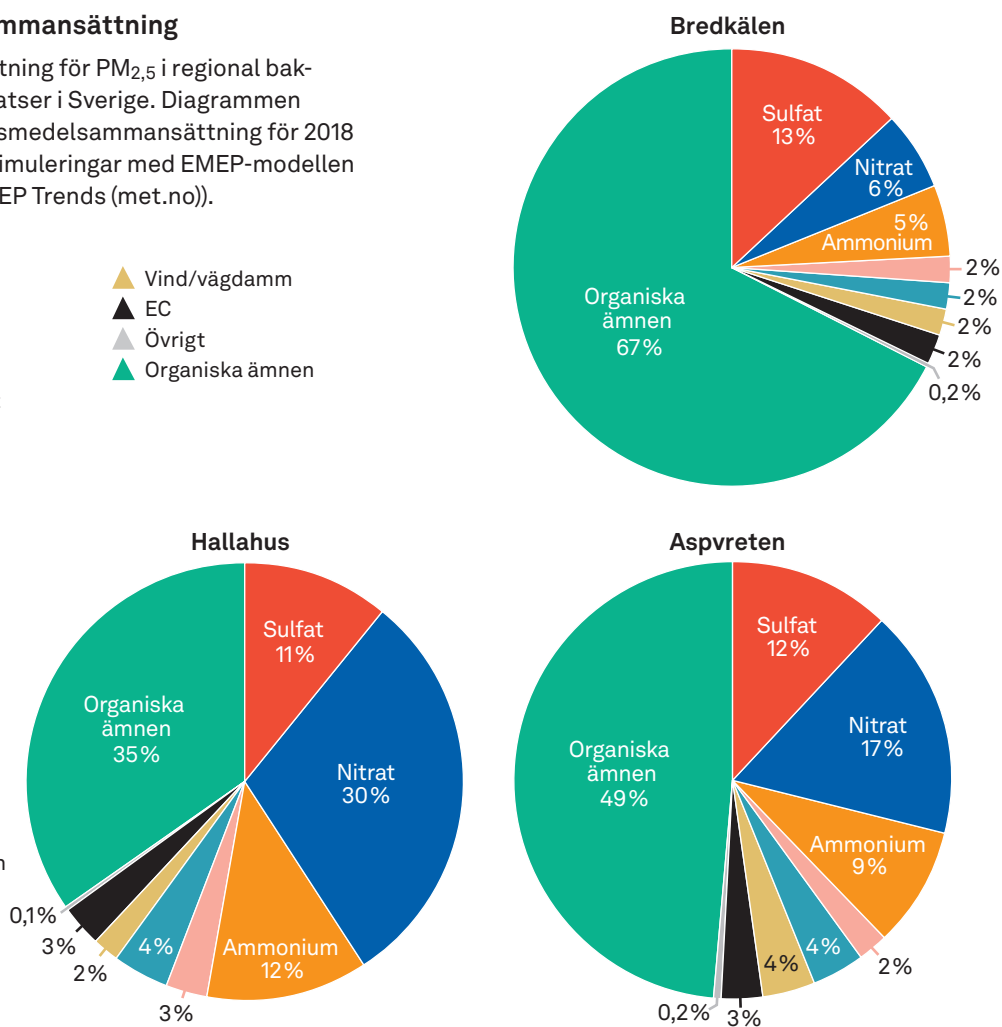




Foto: Pexels

Skogen är en stor källa till organiska partiklar, framför allt sekundära partiklar bildade av flyktiga organiska ämnen men även växtfragment och pollen samt partiklar från gräs- och skogsbränder.

nedkylning kondenserar de delvis till partikelfas. Utspädning har en motverkande effekt så att en del av de halvflyktiga ämnena avdunstar igen när ett utsläpp späds ut i renare omgivningsluft.

Mätningar av organiska partikelutsläpp beror därför på vid vilken temperatur och utspädningsgrad som mätningen utförs. Ett problem är att utsläppsfaktorer för vissa källor (bland annat vedeldning) tagits fram vid olika förhållanden i olika länder, vilket lett till stora skillnader i utsläppsdata – i en del fall ingår halvflyktiga ämnen i utsläppsfaktorerna medan de saknas helt i andra.

Källfördelning gör det lättare att vidta rätt åtgärder

För att bättre förstå partiklarnas egenskaper och möjliggöra effektiva åtgärder för att påverka halterna är det viktigt att bestämma partiklarnas sammansättning och ursprung. Partiklar kan spåras från olika källor med hjälp av spridningsmodeller. Detta kräver god information om utsläppen och en bra beskrivning av väderförhållanden som påverkar spridning, atmosfärskemi och upptag av olika ämnen till mark och vegetation. Källfördelning med hjälp av modeller är användbart bland annat vid hälsorelaterade exponeringsberäkningar. Källfördelningsstudier kan göras för den totala

halten av partiklar men även för enskilda partikelkomponenter av särskilt intresse, till exempel sot (se figur 4) för klimat- eller hälsostudier.

Vid överskridanden av miljökvalitetsnormer (MKN) i utomhusluft behöver man kartlägga var partiklarna kommer ifrån för att kunna vidta effektiva åtgärder. I det åtgärdsprogram som kommuner är skyldiga att upprätta vid över-

skridande av MKN ingår att göra en källfördelning, där bidrag från lokala och urbana källor kvantifieras, och det regionala bidraget delas upp på nationella, gränsöverskridande och naturliga källor. Modeller kan ge information om vilka källor som bidrar till partikelhalter på olika platser vid olika tidpunkter. Ju bättre kvalitet på utsläppsdata som används, desto träffsäkrare blir källfördelningen.

Figur 4. Sot i urban bakgrundsluft

Modellerad fördelning mellan olika svenska och utländska källors bidrag till årsmedelhalt av sot (EC) i urban bakgrundsluft i Stockholm, Göteborg och Malmö 2019. Halterna har beräknats för ett antal områden av storleken 2 km × 2 km inom respektive storstadsregion – för Stockholm och Göteborg har sju olika områden inkluderats och för Malmö fyra. De svenska bidragen är uppdelade på småskalig uppvärmning, vägtrafik, industri och energiproduktion samt "Övriga svenska källor" – framför allt utsläpp från arbetsmaskiner, jordbruk och avfallshantering. Sjöfartsbidraget består av internationell och svensk sjöfart. "Europa" visar bidragen från antropogena utsläpp utanför Sverige och "bränder" visar sot från vegetationsbränder i hela Europa. Den modellerade andelen intransporterat sot från andra länder är störst i Malmö men betydelsefull även i Göteborg och Stockholm. Beräkningarna har gjorts med SMHI:s MATCH-modell.

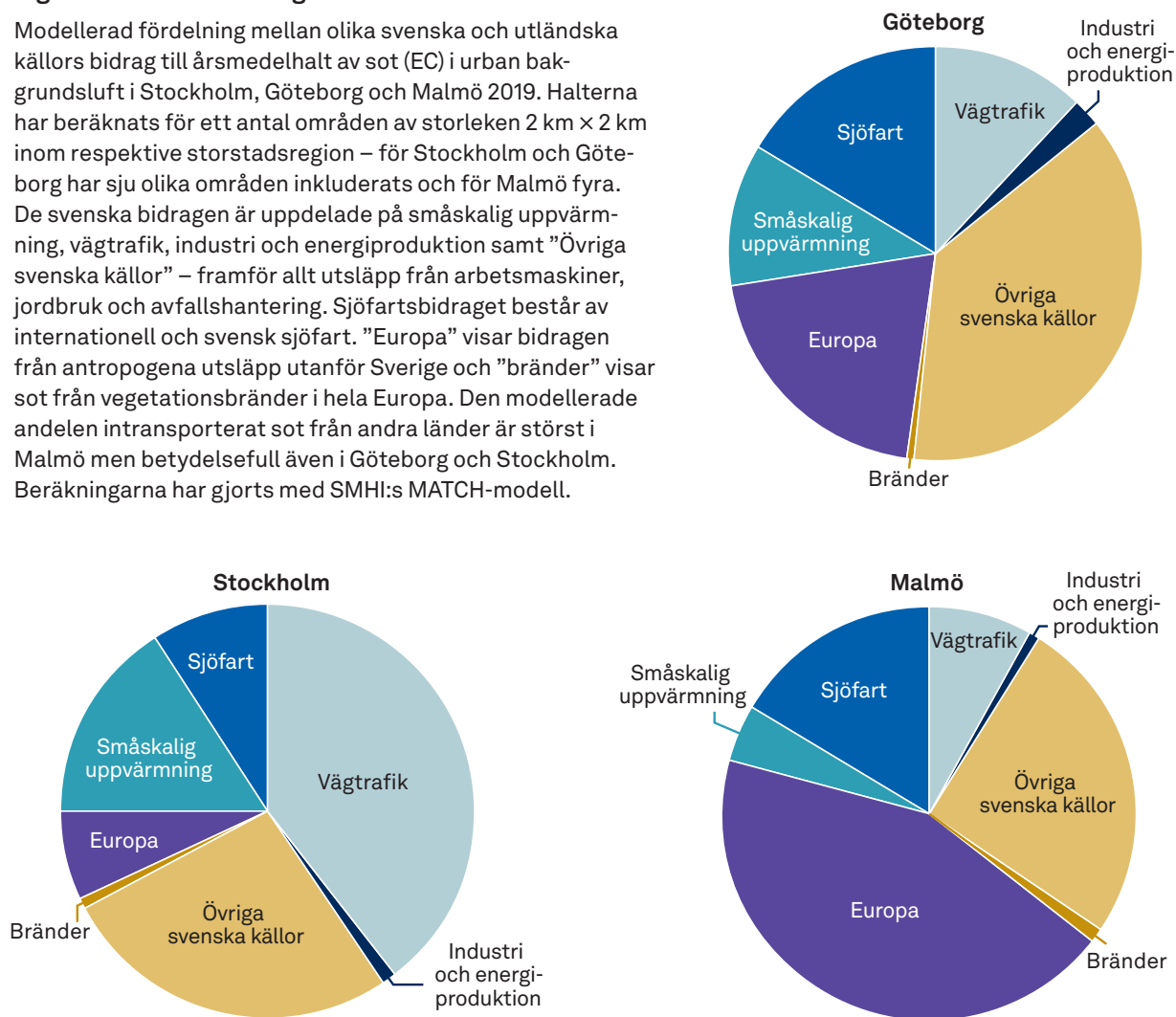




Foto: Getty Images

Vulkanutbrott kan medföra flera olika typer av partikelutsläpp och askan kan spridas långt. Vid den isländska vulkanen Eyjafjallajökulls utbrott 2010 stoppades flygtrafiken i stora delar av Europa.

Ibland består partikelmassan nästan uteslutande av naturliga partiklar – till exempel havssalt, ökendamm, biologiska partiklar, vulkanaska och sulfat. I dessa fall är det svårt att påverka utsläppen, men modellering kan då bidra med prognoser för att förutsäga höga partikelhalter, vilket kan bidra till att mildra negativa konsekvenser av partikelexponering.

I integrerade beslutsstödsmodeller kombineras olika utsläppskällors bidrag till partikelexponering med annan information, till exempel miljömål och uppskattningar av åtgärds kostnader för att minska partikelhalterna och kostnader som exponeringen leder till. Med hjälp av sådana modeller kan det nationella åtgärdsarbetet optimeras, så att de miljöförbättringar man vill uppnå kan nås till så låga kostnader som möjligt.

Text & kontakt:

Robert Bergström, SMHI
robert.bergstrom@smhi.se

Helene Alpfjord Wylde, SMHI
helene.alpfjord.wylde@smhi.se

Camilla Andersson, SMHI
camilla.andersson@smhi.se

Lästips

The convention on long-range transboundary air pollution (unece.org)

The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe (emep.int)

European air quality | Copernicus Atmosphere Monitoring Service (copernicus.eu)

Partiklar i luften påverkar vårt klimat

Det är välkänt att halten av koldioxid, metan och andra växthusgaser påverkar vårt klimat. Men klimatet påverkas också av luftburna partiklar. Trots att partiklar totalt sett har en nedkylande effekt måste partikelhalten i luften minska kraftigt på grund av deras kraftiga påverkan på människors hälsa. Cirka 7 miljoner människor i världen dör i förtid årligen på grund av luftföroreningar.

En del partiklar, till exempel svavelpartiklar, sprider solljuset så att det inte når jordytan och har därmed en avkylande effekt på klimatet. Sotpartiklar å sin sida absorberar solljuset och återger det till omgivande luft som värme – de har därmed en uppvärmande effekt på klimatet. Denna direkta klimatpåverkan beror alltså på partiklarnas kemi, men även deras storlek och antal.

Partiklar förändrar molns inverkan på klimatet

Moln påverkar starkt vårt klimat. Vi känner direkt när solen skuggas av moln. Molnen reflekterar även den utgående värmestrålningen, vilket är anledningen till att molnfria nätter ofta är kyliga. Molndroppar bildas genom att vattenånga kondenseras på luftburna partiklar. Partiklarnas kemi, storlek och antal påverkar hur många droppar som bildas i ett moln. Molndropparnas antal och storlek påverkar starkt deras ljusspridningsegenskaper, dvs. hur mycket solljus som reflekteras och hur mycket som absorberas. Därmed påverkar luftburna partiklar klimatet indirekt genom att molnens klimatpåverkan delvis beror på hur partiklarna förändrar molnens strålningsegenskaper.

Metan

Metan är en växthusgas på grund av sin kraftiga inverkan på värmestrålning. Men metan ger via kemiska reaktioner i atmosfären också ett betydande tillskott av ozon, som är både en växthusgas och en luftförorening. Ozon medför förutom hälsoeffekter även betydande skador på olika grödor, vilket leder till minskad tillgång på livsmedel. Skadorna på vegetationen förvärrar dessutom klimatuppvärmningen genom att kolinbindningen minskar.

Luftföroreningar har en väsentlig påverkan på klimatet

Mänskliga aktiviteter har kraftigt påverkat förekomsten av luftburna partiklar över nästan hela jordklotet. Forskare ifrågasätter i dag ifall det finns några områden med helt oförorenad luft kvar på jorden. Speciellt atmosfären i norra hemisfären är påverkad, om inte av lokala utsläpp, så av långdistanstransport av luftföroreningar. Arktiskt dis (Arctic Haze) observeras under våren i Arktis, orsakat av utsläpp huvudsakligen från Europa och Ryssland.

Modelleringsstudier visar tydligt att ökad förekomst av luftföroreningar, framför allt under

1950-talet fram till början av 1990-talet, har dämpat den globala uppvärmningen orsakad framför allt av ökande koldioxid-koncentrationer. Den minskning av luftföroreningar som har skett därefter, speciellt när det gäller svaveldioxid, har å sin sida bidragit betydligt till en ökad uppvärmning. Trots det orsakar luftföroreningar fortfarande en betydande kylning av planeten (se figur 1).

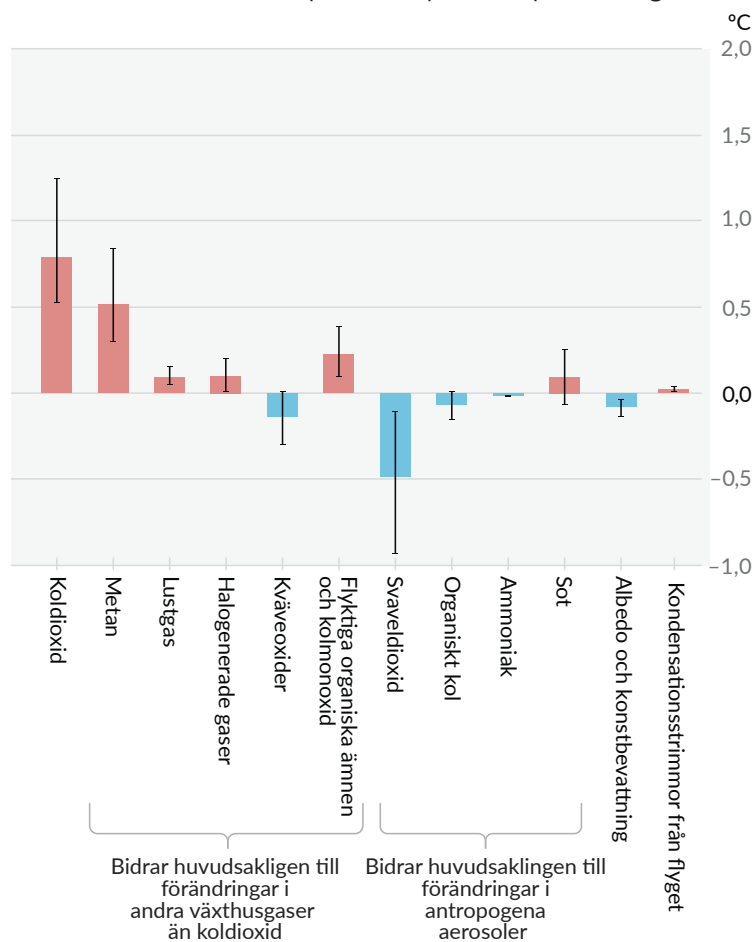
Förändrade cirkulationsmönster förstärker klimatförändringarna

Partiklarna har stor inverkan på hur mycket solljus som når och värmer vår planet. När mängden och fördelningen av den värmande strålningen över jordklotet ändras påverkas det komplicerade luftströmningsmönster som ger oss det vi dagligdags kallar väder, dvs. temperaturväxlingar och nederbördsmonster som följer med de låg- och högtryck som passerar.

Partiklarnas inverkan på strålningsbalansen är störst i utsläppsområdena, dvs. de mest bebodda och industrialiserade regionerna, exempelvis Europa.

Figur 1. Uppskattade bidrag till global uppvärmning 2010-2019 relativt 1850-1900

Global uppvärmning orsakad av antropogena utsläpp där uppvärmning på grund av växthusgaser delvis döljs av luftburna partiklars kylande inverkan. Bidragen till uppvärmningen har beräknats utifrån olika komponenters påverkan på strålningen.



Källa: IPCC, Sixth assessment report, Working group 1, The physical science base, kapitel 6. Översatt till svenska i "Klimat i förändring 2021. Den naturvetenskapliga grunden", Klimatologi 65, smhi.se.

Men den temperaturförändring som den orsakar i dessa områden är mindre än den som den samtidigt orsakar i Arktis. Det beror på att det globala strömningsmönstret har förändrats till följd av ökade växthusgaskoncentrationer och förändrad förekomst av luftburna partiklar. Mer varmluft från tropikerna och mellanlatituderna transporteras upp till Arktis. Dessutom finns förstärkande effekter i Arktis till följd av en ökad uppvärmning. När is och snö försvinner och ersätts av öppet hav och barmark absorberas solljuset bättre, vilket ökar uppvärmningen. Förändrade mark- och isförhållanden ökar molnens värmeisolerande effekt under vintern. Sammantaget resulterar detta enligt FN:s klimatpanel IPCC i en mer än dubbelt så snabb uppvärmning i Arktis jämfört med den globala uppvärmningen. Senare sammanställningar av observationer visar på att uppvärmningen kan ha varit så mycket som 4–5 gånger snabbare.

Årsmedeltemperaturen i Arktis har ökat med cirka 1,5 grader mellan 1990 och 2015 varav ca 0,7 grader anses bero på ökande koldioxidhalter och 0,7 grader på grund av mindre svaveldioxid. Minskade utsläpp av sot bidrar endast med knappt 0,1 graders avkylning.

Sotutsläppen minskar för lite för att bromsa temperaturhöjningen

Sot har per kg utsläpp cirka 4–5 gånger större inverkan på temperaturen än svaveldioxid så det relativt blygsamma bidraget till att bromsa temperaturutvecklingen i Arktis beror på att utsläppen av sot inte har minskat speciellt mycket sedan 1990. Utsläppen av svaveldioxid från Arktiska rådets medlemmar och observatörer uppskattas ha minskat mellan 1990 och 2015 med cirka 50 000 kton (kiloton = tusen ton) per år medan utsläppen av sot endast har minskat med cirka 800 kton per år. Detta

innebär att svavelpartiklarnas kylande inverkan kraftigt minskar, vilket orsakar en uppvärmning av klimatet, medan den relativt lilla minskningen av det värmande sotet ger en liten minskning av klimatuppvärmningen. Totalt ger därmed minskningarna av svavel och sot en värmande effekt på klimatet (se figur 2).

Figur 2. Temperaturutveckling i Arktis relativt 2015

I figuren visas hur temperaturen har förändrats i Arktis på grund av förändrad koldioxidhalt i atmosfären (i grått), utsläpp av svavel (i orange), metan (i blått) och sot (i grönt). Historiskt har reducerade svavelutsläpp orsakat en lika stor uppvärmning som koldioxid.

Om ingångna avtal och nuvarande lagstiftning fortsätter att gälla (CLE, "Current legislation-scenario") kommer minskade utsläpp av svavel att bidra med ytterligare 0,4 grader C medan ökande metan och minskande sot tar ut varandra.

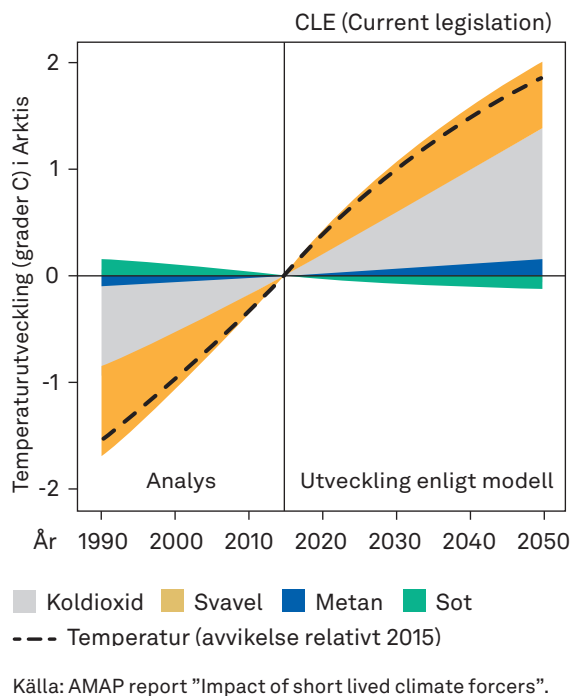




Foto: Adobe Stock

Klimatförändringarna tillsammans med den ökande avskogningen rubbar Amazonas viktiga funktion som koldioxidsänka.

Amazonas ekosystem rubbas av förändringarna

Det förändrade cirkulationsmönstret i atmosfären drabbar inte enbart Arktis utan även tropikerna. Nederbördsmonstret i Amazonas har förändrats med längre torkperioder, vilket tillsammans med högre temperaturer kraftigt påverkat det naturliga tropiska ekosystemet. Den tropiska skogen transporterar mindre vattenånga tillbaka till atmosfären vilket innebär mindre nederbörd nedströms söder om Amazonas. Samtidigt minskar upptaget av koldioxid på grund av att fotosyntesen saktar in vid högre temperaturer. Flera studier visar att detta, tillsammans med en accelererande avskogning, har lett till att Amazonas blivit en koldioxidkälla i stället för en viktig sänka, alltså att mer koldioxid nu släpps ut än vad som lagras in.

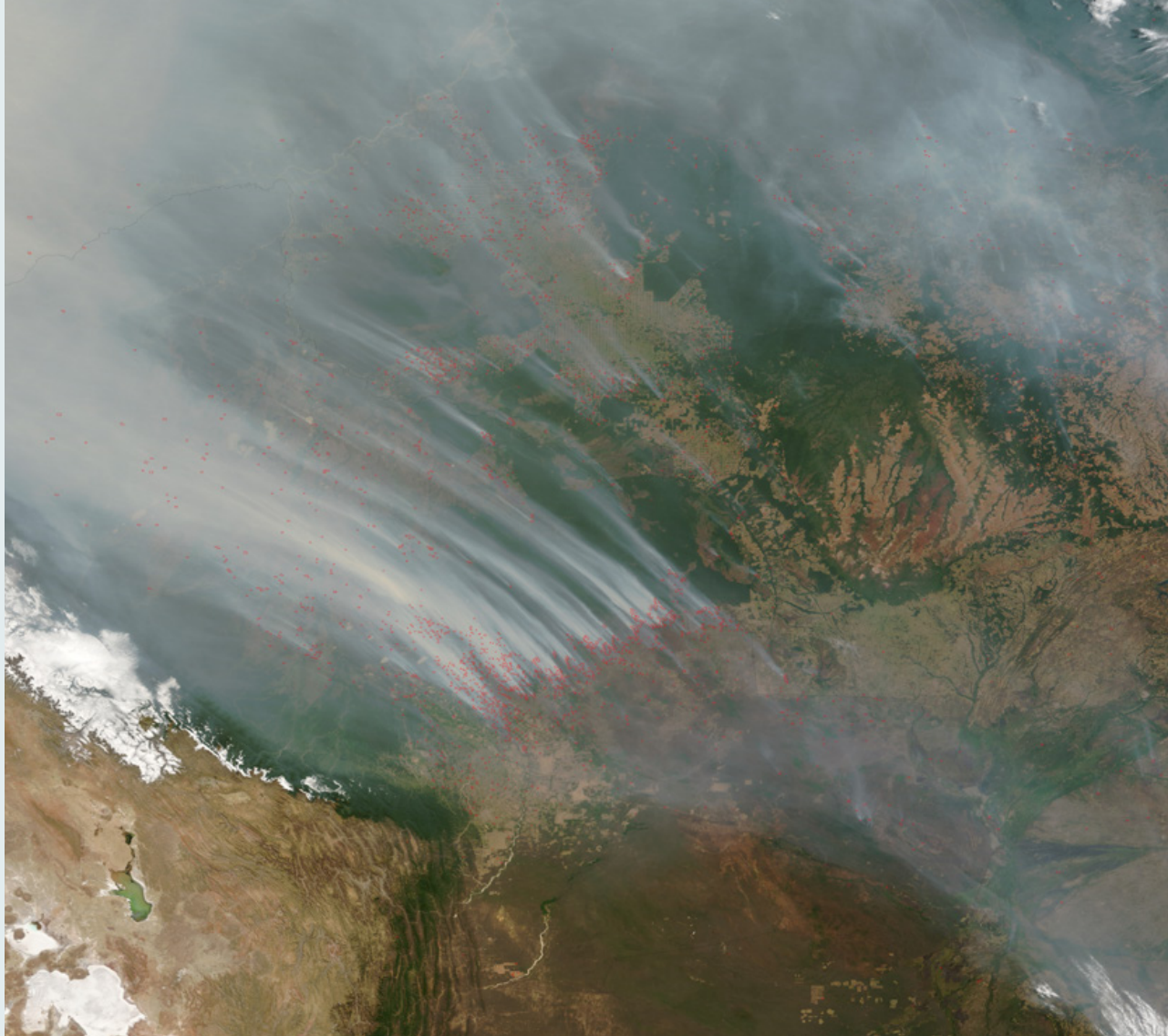
Dessa exempel från Arktis och Amazonas visar att de luftburna partiklarna utgör en viktig del av en händelsekedja som kraftigt kan förändra det

regionala klimatet och dess ekosystem, betydligt mer än det globala medelvärdet. Det är därför viktigt att minimera luftföroreningars inverkan på klimatet.

Luftkvaliteten måste förbättras utan att klimatet försämras ytterligare

Luftföroreningars, och speciellt partiklarnas, inverkan på människors hälsa är betydande. WHO framhåller att luftburna partiklar, mätt som PM_{2,5}, är den miljöförorening som orsakar flest människors förtida död. Därmed är det mycket viktigt att kraftigt minska utsläppen av partiklar, till exempel sot, eller partikelbildande gaser, som svaveldioxid.

Eftersom svaveldioxid ger ett betydande bidrag till PM_{2,5} måste det minska, vilket dock orsakar en uppvärmning av klimatet. En sådan reduktion måste därför kopplas till en minskning även av värmande partiklar som sot för att minimera klimat-effekten, detta motiveras också av att sotpartiklar har betydande negativa hälsoeffekter. En sotpartikel



Figur 3. Satellitbild av rök från skogsskövling i Amazonas

Bränderna syns som röda prickar.

Källa: NASA image courtesy Jacques Descloitres, MODIS Rapid Response Team, Goddard Space Flight Center.

I ett varmare klimat tenderar skogsbränderna att öka

Skogsbränder ger mycket stora utsläpp av partiklar. Skogsskövlingen i Amazonas är välkänd och ger en kraftig påverkan på luftkvaliteten. Under de senaste åren har observationer visat på en ökande förekomst av skogsbränder, speciellt i den boreala skogen, dvs. det bälte av barrskog som sträcker sig genom Eurasien via Sibirien och vidare genom Kanada. Halter av partiklar från dessa bränder i Kanada och Sibirien har under de senaste åren nått samma halter som förekommer i Amazonas till följd av de bränder som sker i samband med avskogningen. Dessa enorma bränder orsakas av längre torrperioder och höga temperaturer. Partikelutsläppen från dessa är till stor del sot, organiskt kol och ozonbildande gaser, förutom koldioxid. Ökande förekomst av skogsbränder ger en oroväckande förstärkande effekt av klimatuppvärmningen.

värmer cirka 4–5 gånger mer än en svavelpartikel kyler, men nuvarande utsläpp av svavel är cirka tio gånger större än utsläppen av sot. Det innebär att klimat-effekten av en 100-procentig reduktion av sotutsläppen kompenseras endast av en 50-procentig reduktion av svavelutsläppen. Ytterligare reduktion av svavel kräver en reduktion av andra klimatvärmade luftföroreningar, som metan. Den kraftiga reduktion av svavelutsläppen som skett under de senaste 30 åren, utan minskning av sot och metan, har orsakat nästan lika stor uppvärmning som ökningen av koldioxid (se figur 2, sid 78).

Balans krävs mellan uppvärmning och nedkylande effekter

En minskning av utsläppen av partiklar, och gaser som bildar ozon, är viktig på grund av deras omfattande påverkan på vår hälsa. Luftföroreningar, främst PM_{2,5}, orsakar cirka 7 miljoner förtida dödsfall varje år i världen. Det är helt nödvändigt att minska utsläppen för att nå flera av FN:s globala hållbarhetsmål. MEN för att motverka en acceleration av klimatuppvärmningen måste värmade och kylande komponenter balanseras så att kommande förbättring av luftkvaliteten blir klimatneutral. Utsläppen av sot och metan måste därför minska kraftigt för att kompensera den uppvärmning som följer av en reduktion av svaveldioxid.

Text & kontakt:

H-C Hansson, Stockholms universitet
hanschristen.hansson@aces.su.se

För bättre klimatprognoser behövs mer kunskap

Partiklarna har en betydande inverkan på klimatet, men kunskapen om de olika klimatpåverkande processer som atmosfäriska partiklar ingår i är fortfarande bristfällig. Speciellt hur moln påverkas har stor inverkan på modellernas förmåga att beskriva hur klimatet kommer att utvecklas. FN:s klimatpanel IPCC identifierar i sin rapport från 2021 samspelet mellan partiklar och moln som det viktigaste att studera för att reducera osäkerheten i klimatprojektionerna. Partiklar har genom sin inverkan på moln även inverkan på nederbördens intensitet och periodicitet.

Den senaste forskningen har tydligt visat att utsläppen av växthusgaser måste begränsas kraftigt för att hejda klimatuppvärmningen och att luftkvaliteten måste förbättras genom kraftigt minskade partikelhalter i omgivningsluften. För att dessa åtgärder inte ska motverka varandra måste värmade och kylande komponenter av luftföroreningar minskas genom klimatneutrala åtgärder.

Lästips

IPCC, 2021: The physical science basis. Summary for policymakers ([ipcc.ch](https://www.ipcc.ch)).

Svensk version: Klimat i förändring 2021. Den naturvetenskapliga grunden (diva-portal.org)

AMAP, 2021: Impacts of short-lived climate forcers on Arctic climate, air quality and human health. Summary for policymakers ([amap.no](https://www.amap.no))

Artaxo, P. et al (2022). Tropical and boreal forest – atmosphere interactions: a review. *Tellus B*, 74(1), pp. 24–163. (tellusjournals.se)

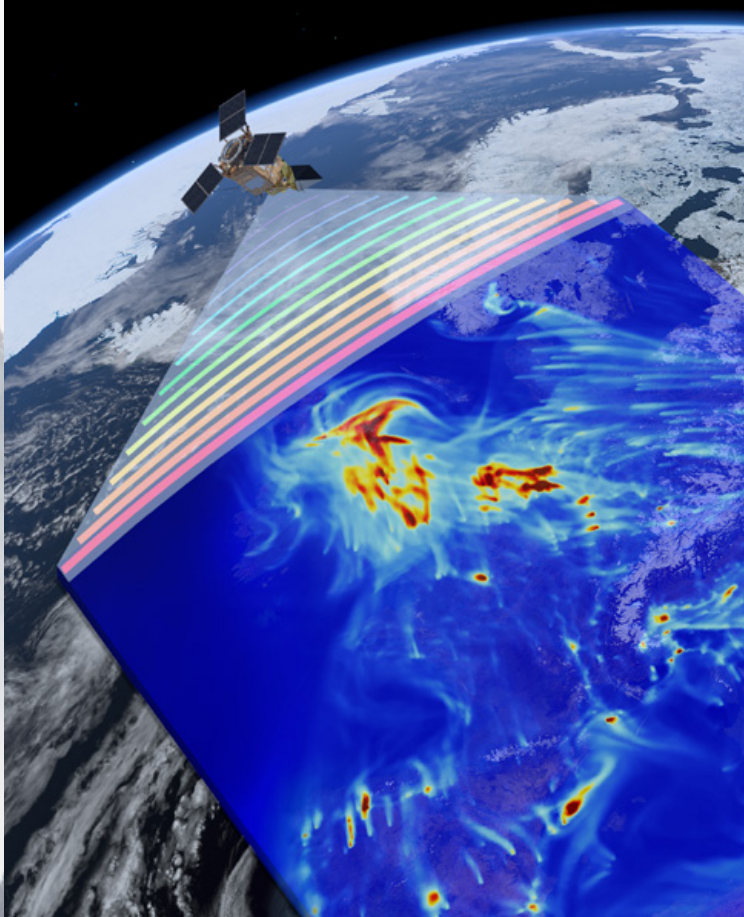
Lewinschal, A. et al (2019). Local and remote temperature response of regional SO₂ emissions, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 2385–2403. ([copernicus.org](https://www.copernicus.org))

Sand, M. et al (2020). Surface temperature response to regional black carbon emissions: do location and magnitude matter?, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 3079–3089. ([copernicus.org](https://www.copernicus.org))

Spridningsmodeller allt viktigare när antalet skogsbränder ökar

Skogsbränderna sommaren 2018 var de hittills mest omfattande i Sverige i modern tid. Bränderna omfattade 25 000 hektar (cirka 36 000 fotbollsplaner), vilket är nästan tio gånger mer än genomsnittet under 2000-talet. Det extremt torra och varma vädret under sommaren 2018 var en väckarklocka om att klimatförändringarna kan bidra till högre risk för skogsbränder i Sverige. Det visar behovet av ett system som beskriver prognoser för halter av brandrökspartiklar nationellt, i kombination med meddelanden om höga halter.





Luftkvalitetsprognoser i Europa – CAMS

Copernicus Atmospheric Monitoring Services (CAMS) är en del av EU:s jordobservationssystem. Inom CAMS presenteras dagliga prognoser för spridning av luftföroreningar, till exempel partiklar (PM_{2,5} och PM₁₀), marknära ozon och kväveoxider samt prognoser för spridning av partiklar från vissa källor såsom skogsbränder.

Prognoserna finns tillgängliggjorda med fokus på Europa, men även för hela jordklotet. Prognoserna baseras på en kombination av kemiska transportmodeller, markbaserade mätningar samt satellitdata. Till de europeiska prognoserna används nio av de främsta kemi- och transportmodellerna i Europa, inklusive EMEP MSC W och MATCH-modellen (utvecklad av SMHI). Skattningar av dagliga utsläpp från skogsbränder tas fram utifrån satellitmätningar och används av modellerna för att beskriva transport av brandrökspartiklar.

Källa: European air quality | Copernicus Atmosphere Monitoring Service (copernicus.eu)

Skogsbränder kan bilda stora mängder rök som innehåller små, hälsovådliga partiklar. Halterna är högst nära branden, vilket kan påverka släckningsarbetare, men partiklarna kan även påverka boende i områden som nås av plymen från branden. I dag finns prognoser för spridning av partiklar från skogsbränder i Europa, men inte på tillräckligt god upplösning nationellt. Den tekniska kunskapen finns för en nationell beredskap för skydd av människors hälsa.

Hur kan vi beskriva spridningen av brandrökspartiklar?

Rökbildningen och partikelutsläppen från en skogsbrand påverkas av många faktorer, inklusive väder, trädslag och markbeskaffenhet i skogen. Röken från skogsbranden sprids med vindar, längre bort med starkare vindar och på närmare håll om det börjar regna eller om det inte blåser.

Det finns globala, dagliga skattningar av utsläpp från skogs- och gräsbränder. Dessa tas fram med avancerade beräkningar som baseras på satellitmätningar. Dessa skattningar kan kombineras med väderprognoser genom avancerad spridningsmodellering för att beskriva hur partiklarna från bränderna sprids och omvandlas i atmosfären för att slutligen lämna den genom deposition. Denna typ av beräkning görs inom CAMS operationella luftföroreningsprognoser för hela Europa (se fakta).

Jämtland-Härjedalen 2018

Utöver prognoser kan även beräkningar göras över historiska halter och människors exponering för partiklar från skogsbränder. En sådan studie har genomförts för beräkning av luftföroreningar från skogsbränderna i Jämtland-Härjedalen 2018 (se figur 1), för att skatta hälsoeffekter av brandrök.

Figur 2 visar befolkningsexponering för $PM_{2,5}$ i Östersunds kommun under sommaren 2018 (den blå mörkblå linjen visar exponering orsakad av skogsbrandspartiklar). Spridningen av skogsbrandspartiklar, men även utsläpp, omvandling och transport av andra partiklar och luftföroreningar, beräknades timme för timme, dels i ett större område som täckte hela Europa, dels ett mindre område som täckte mellersta Sverige på en finare upplösning.



Figur 1. Brandröksplym från skogsbränder i Jämtland-Härjedalen 2018

Den grå cirkeln omringar huvuddelen av brandröksplymen (grå färg), övriga vita och grå mönster inkluderar olika typer av moln och kustlinje.

Källa: SMHI.

Hälsoeffekter av brandrökspartiklar

Föroreningsarna från skogsbränder ger både upphov till akuta hälsoeffekter bland känsliga människor, inom timmar eller dygn, och bidrar till uppkomst av sjukdom och förtida dödsfall på grund av en högre långtidsexponering.

En hälsokonsekvensberäkning

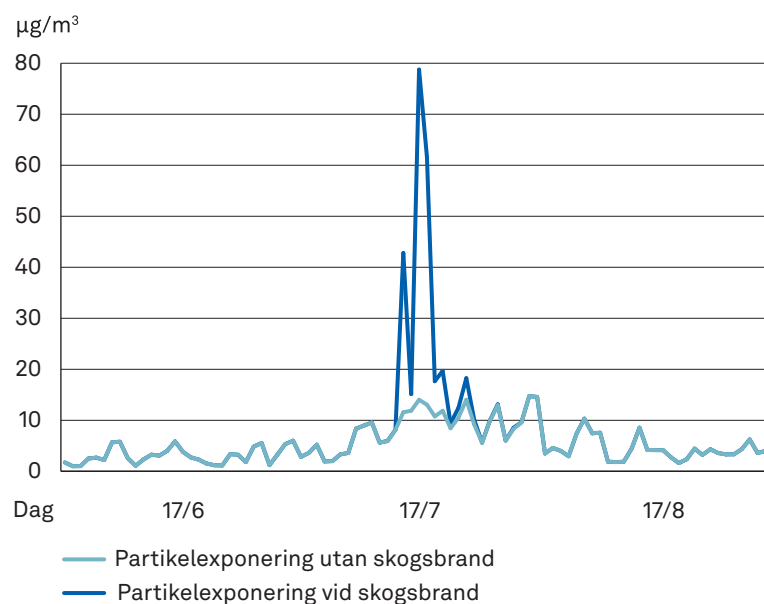
uppskattade att röken från skogsbränder årligen orsakar 339 000 förtida dödsfall globalt. En internationell epidemiologisk studie av rökpartiklarnas akuta påverkan på dagligt antal dödsfall i 749 städer beräknade att drygt en halv procent av samtliga dödsfall orsakas av PM_{2,5} från skogsbränder. Ett stort antal studier finns om akuta effekter i

andningsvägarna, främst ökning av dagligt antal akutbesök och sjukhusinläggningar för astma och andningsproblem, medan underlaget kring akut hjärt-kärlsjukdom är svagare.

Sambanden mellan halten av PM_{2,5} från bränder och akuta effekter har bland annat i USA och Kanada använts för att skapa särskilda föroreningsindex och till deras riskkategorier kopplade råd eller krav som meddelas via myndigheter, media och internet. De haltgränser som tillämpas varierar, i Montana i USA startar råden om anpassning av utomhusaktiviteter för känsliga vid en timme utomhus med över 12 mikrogram per kubikmeter av PM_{2,5}, medan motsvarande tröskel på andra platser kan vara mer än dubbelt så hög.

Figur 2. Maximal PM_{2,5}-halt i Östersund 2018

Modellerad befolkningsexponering för dygnets maximala PM_{2,5}-halt i Östersunds kommun under sommaren 2018. Mörkblå linje visar partikelexponering inklusive skogsbränders utsläpp. Den nedre kurvan (ljusblå) visar exponeringen av befolkningen om det inte hade varit någon skogsbrand. Beroende av var branden är belägen jämfört med kommunen och vart brandröksplymen rör sig, blir den resulterande exponeringen olika. Allra högst exponering för brandrökspartiklar var under sommaren 2018 i Bergs och Härjedalens kommuner med annan tidsvariation.



Källa: SMHI.

Spridning av rök från skogsbränder i norra hemisfären

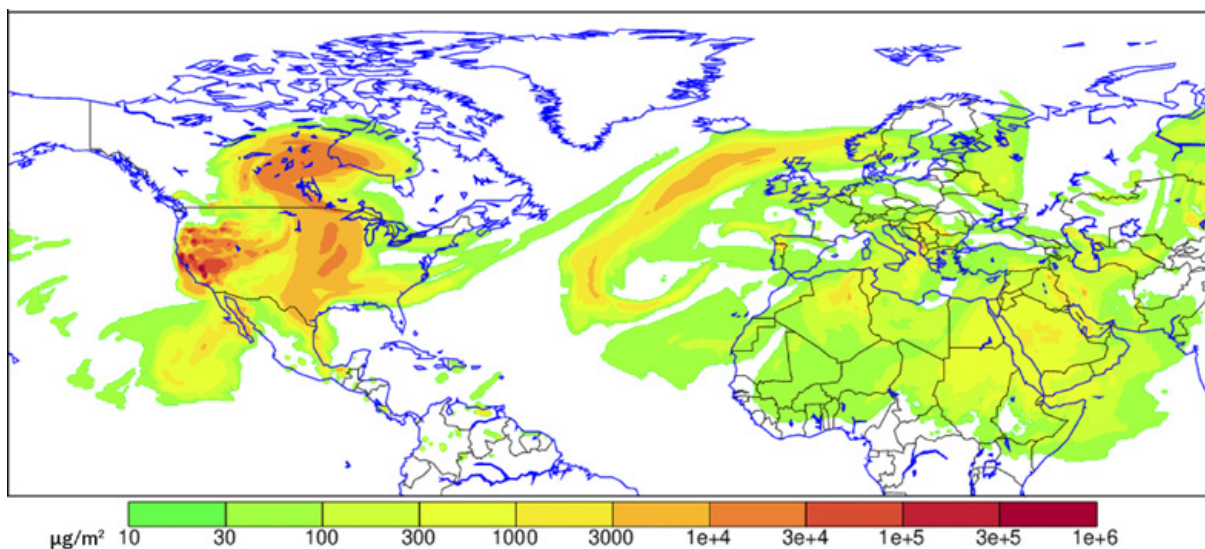
Skogsbränder sker varje år med varierande intensitet och utbredning över stora delar av jordklotet. På höga breddgrader inträffar ofta större bränder i Arktis (speciellt norra Ryssland, Alaska och Kanada). Andra områden med återkommande bränder inkluderar Afrika, Australien, Nord- och Sydamerika, Öst- och Sydeuropa och övriga Ryssland.

Dessa bränder bidrar lokalt till dålig luftkvalitet, men bränder på norra halvklotet kan även bidra till kraftigt förhöjda halter av föroreningar i bakgrundsluft i Sverige. Halterna kan bli så höga att känsliga personer bör undvika ansträngande aktiviteter utomhus. Detta kan ske genom att väder och vind transporterar förorenad luft från andra delar av Europa, även via transport i fria troposfären till Sverige från andra världsdelar (till exempel från bränder i Kalifornien, se figur 3). Transporthändelser med höga halter inom Europa kan fångas genom CAMS operationella system och bidra till en beredskap för skydd av hälsa.

En sådan transporthändelse skedde i september–oktober 2020. En kombination av

uppvirvlat ökenamm i samband med en ökenstorm och partiklar från skogsbränder i Ukraina och södra Ryssland orsakade exceptionellt höga partikelhalter i norra Europa. Vid denna typ av händelser bör CAMS prognoser kombineras med satellitdata och mätningar av markhalter för en bättre förståelse, övervakning och för att kunna ge samhällsnyttig hälsoinformation. Ytterligare modellstudier som genomförs i efterhand kan, i kombination med analys av uppmätta partiklars innehåll, också hjälpa till med förståelsen för transporthändelser och förbättra systemen för att fånga de högsta halterna och ge god förvarning för skydd av människors hälsa.

Figur 3. Totalkolumn av PM_{2,5} från skogsbrandrök 20 september 2020, 12:00 UTC



PM_{2,5} från skogsbränder, summerad vertikalt i atmosfären (totalkolumn) den 20 september 2020. Bilden visar spridning från bland annat bränder i Kalifornien med spridning över nordamerikanska kontinenten och Nordatlanten. Bränder över andra delar av världen, till exempel i Afrika, bidrar också till spridningsbilden. Bilden baseras på spridningsmodellering av halter i atmosfären med MATCH-modellen och utsläppsdata av brandrökspartiklar baserad på satellitmätningar.

Källa: SMHI.



Foto: Adobe Stock

Luftkvalitetsprognoser gör det möjligt att förvarna om höga partikelhalter och vidta förebyggande åtgärder.

Framtida behov

Ett nationellt system för prognoser av luftföroreningar på högre upplösning skulle kunna bidra med prognoser för spridning av partiklar från skogsbränder i Sverige och ge en förvarning om vilka områden eller orter som behöver åtgärder för skydd av människors hälsa. Sådana åtgärder kan vara meddelande om höga partikelhalter i olika nivåer som medför råd om att inte utföra ansträngande aktiviteter utomhus eller, vid högre halter, att gå in och stänga av ventilation. Meddelande om höga partikelhalter vid långdistanstransporthändelser skulle redan i dag kunna införas nationellt till skydd av människors hälsa, med underlag från CAMS prognoser, och markmätningar. Det är viktigt att använda de tekniska möjligheter som finns för att undvika negativa hälsokonsekvenser.

Text & kontakt:

Camilla Andersson, SMHI
camilla.andersson@smhi.se

Joakim Langner, SMHI
joakim.langner@smhi.se

Ana Cristina Carvalho, SMHI
ana.carvalho@smhi.se

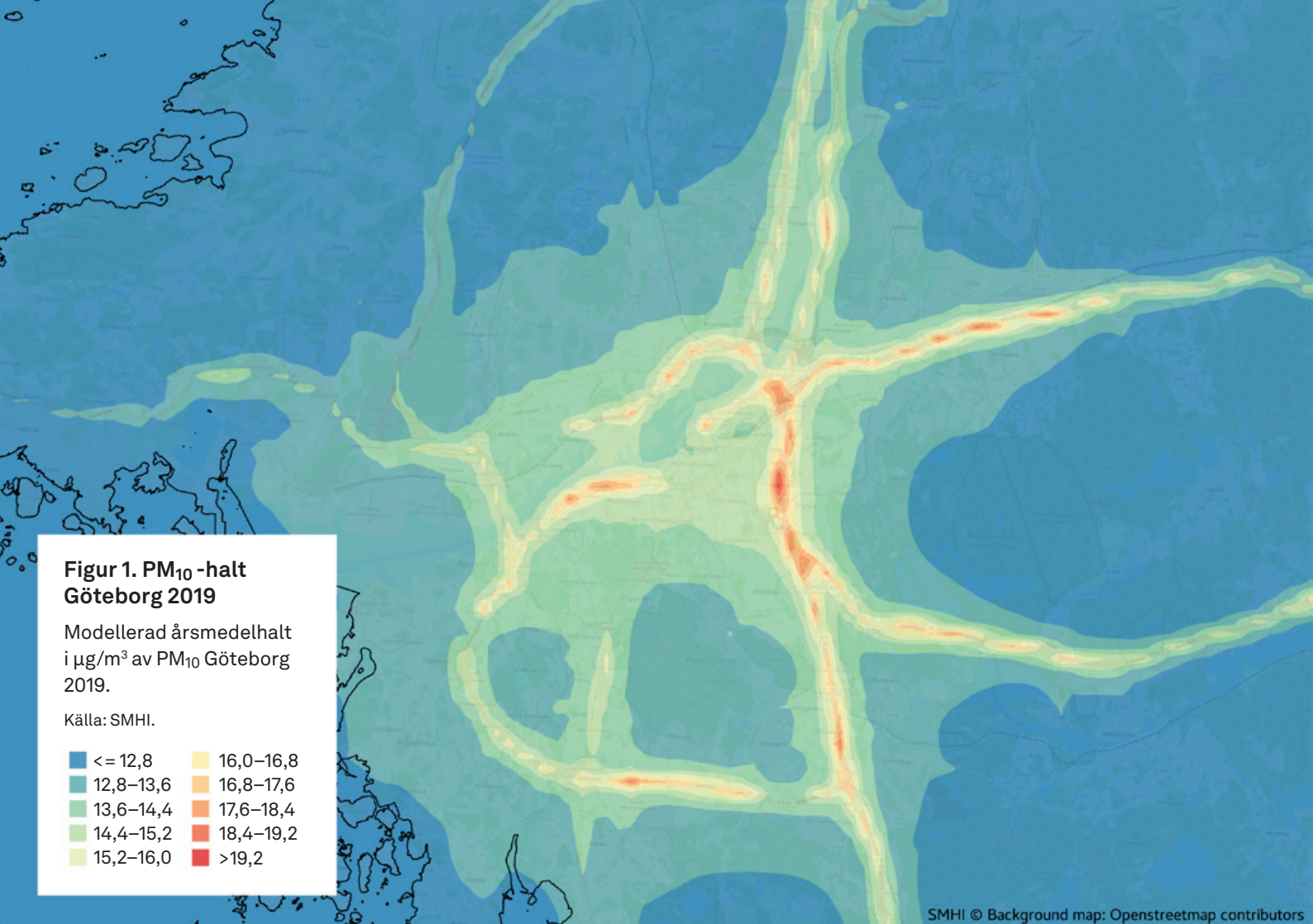
Lennart Robertson, SMHI
lennart.robertson@smhi.se

Bertil Forsberg, Umeå universitet
bertil.forsberg@umu.se

Lästips

Air quality and your health. Recommendations from the Montana department of environmental quality (mt.gov)

GWIS Global wildfire information system – current situation (europa.eu)



Hur kan modellering förbättra luftkvaliteten i svenska tätorter?

Luftföroeningarna i stadsluften vi andas är ett folkhälsoproblem, inte minst de höga partikelhalterna. Att förbättra luftkvaliteten ligger i allas intresse, men för att sätta in träffsäkra åtgärder krävs en förståelse för både var utsläppen kommer ifrån och hur spridningen sker. Genom att kombinera mätningar och modellering fås ett viktigt underlag för åtgärdsarbetet för friskare luft.

Luftkvaliteten i en tätort påverkas av många faktorer. Bakgrundshalterna är olika höga beroende på var i landet man är, de lokala utsläppskällorna ser olika ut, och även meteorologin och bebyggelseutformningen har stor påverkan på hur höga de faktiska föroreningshalterna blir.

Partikelmätningar ger en bra indikation på luftkvaliteten där mätstationen står, men halterna skiljer sig mycket åt på olika platser i samma stad. Här spelar spridningsmodeller en viktig roll, för att kartlägga luftkvaliteten över ett större område samt för att beräkna effekten av olika åtgärder.

Spridningsmodeller i stadsmiljö

Det finns olika spridningsmodeller att använda i stadsmiljö, och de har olika styrkor och svagheter. Med tät bebyggelse minskar cirkulationen av luften och smutsig luft ventileras inte ut ur gaturummen lika effektivt. Det finns lokalskaliga spridningsmodeller som kan beskriva byggnaders effekter på bortventilationen av föroreningar. Dessa modeller ger värdefulla insikter till stadsplanering och övervakning av luftkvaliteten.

Hur kan spridningsmodellering stödja arbetet med förbättrad luftkvalitet?

- Med karteringar av luftkvaliteten skapas en förståelse för luftkvaliteten över hela tätorten.
- Genom att kombinera mätningar och modellering skapas ett bra kunskapsunderlag.
- En källfördelning svarar på vilka utsläpp som påverkar halterna och hur mycket.
- Med modellering kan olika åtgärder för förbättring av luftkvaliteten utvärderas så att mest effektiv åtgärd väljs för relevant plats.

Modellerna behöver högkvalitativa indata för att ge tillförlitliga resultat. Det handlar till exempel om

- geometrier för platsen (hushöjder, vägbredd osv.),
- väderdata, såsom vindriktning, vindhastighet, temperatur och nederbörd, och
- utsläppsdata eller underlag till utsläppsberäkningar. För vägtrafik är trafikinformation central med data såsom antal fordon som kör på vägarna, andel bussar och annan tung trafik samt väghållning.

Utöver indata behöver modeller valideras med kvalitativa mätningar av luftkvalitet, för att säkerställa god överensstämmelse med verkligheten.

De viktigaste lokala utsläppskällorna

En viktig lokal utsläppskälla i våra städer är vägtrafiken. För partiklar sker utsläpp både från fordonens avgaser (främst mindre partiklar, så kallade $PM_{2,5}$) och från slitage från vägbanan till följd av friktion (främst större partiklar, PM_{10}). Dubbdäck bidrar till ökat slitage av vägbeläggningen. Sandning och saltning bidrar också till vägdamm, och särskilt på våren finns risk för höga partikelhalter när ansamlat vägdamm virvlar upp från de torra vägbanorna.

En lokal utsläppskälla som ibland förbises är den småskaliga vedeldningen. Särskilt gamla vedpannor, men också dåliga eldningsvanor med blöt ved och ofullständig förbränning, orsakar partikelutsläpp av hälsovådliga ämnen. Tätorter utan utbyggd fjärrvärme har generellt högre utsläpp från småskalig vedeldning.

Utöver vägtrafik och småskalig uppvärmning kan även andra lokala utsläpp vara signifikanta. Sjöfarten kan bidra om det finns en hamn eller större farled i närheten. Även till exempel en industri, lokala panncentraler eller andra förbränningsanläggningar kan ge betydande påverkan lokalt.

Först när vi förstår vilka utsläppskällor som bidrar mest till partikelhalterna kan vi vidta effektiva åtgärder. I de fall en miljö kvalitetsnorm överskrids är det krav på att ta fram ett åtgärdsprogram (enligt 5 kap. 7 § miljöbalken). Vid framtagandet av ett åtgärdsprogram skapas en källfördelning som beskriver vilka utsläppskällor som bidrar till halterna. Spridningsmodellering är en grundbult i arbetet med en sådan källfördelning.

Åtgärder för minskade partikelhalter

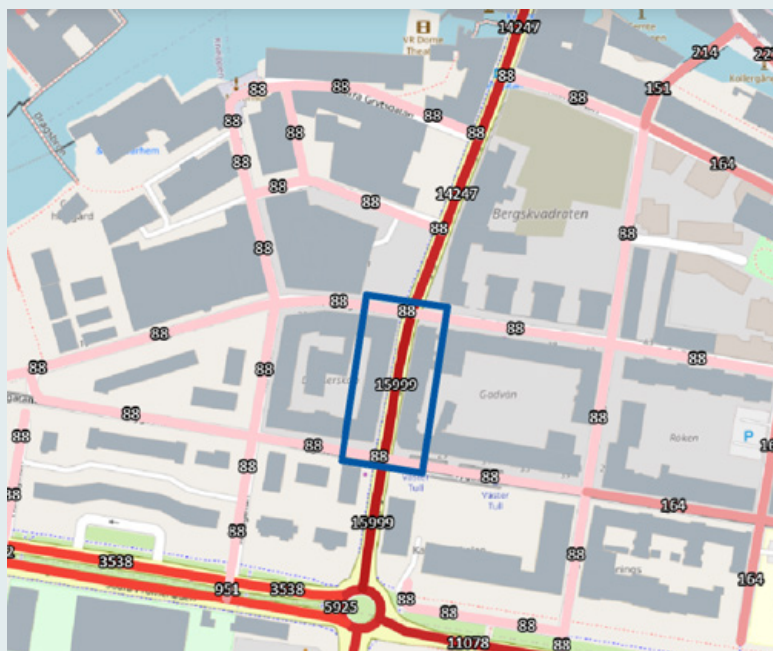
Spridningsmodeller är ett mycket bra hjälpmedel för att utvärdera hur olika åtgärder förväntas påverka partikelhalterna. Först görs ett beräkningsfall med nuvarande förutsättningar, ett så kallat basscenario, och därefter kan olika scenarier testas för att utvärdera vilka åtgärder som ger störst effekt på partikelhalterna.

Ett exempelfall för att simulera partikelhalter (PM_{10}) i gaturum har tagits fram med hjälp av SMHI:s luftkvalitetssystem SIMAIR. I detta exempel valdes Kungsgatan i Norrköping ut (se figur 2). Beräkningarna gjordes i ett trångt gaturum mellan två höga fasader och med en årsdygnstrafik på nästan 16 000 fordon. I SIMAIR kan användaren ändra värden på



Foto: Mostphotos

Kungsgatan i Norrköping. Gaturummet där beräkningarna utfördes ligger högst upp i bild efter trafikljusen.



Figur 2. Modellering av PM_{10} i centrala Norrköping

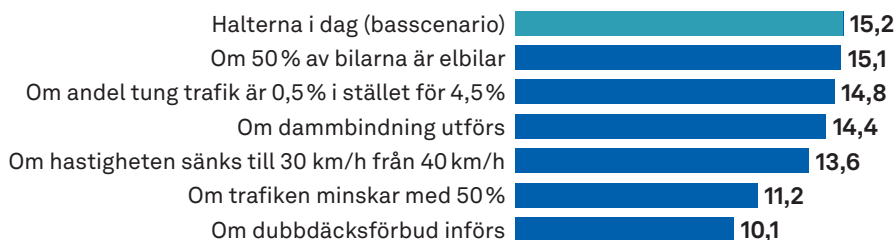
Kartvy över centrala Norrköping från luftkvalitetssystemet SIMAIR, där siffrorna på vägarna anger årsdygnstrafik (ÅDT). Kungsgatan är belägen från rondellen och vidare norrut. Det utvalda gaturummet där beräkningarna utfördes är markerat med en blå ruta.

Källa: SMHI.

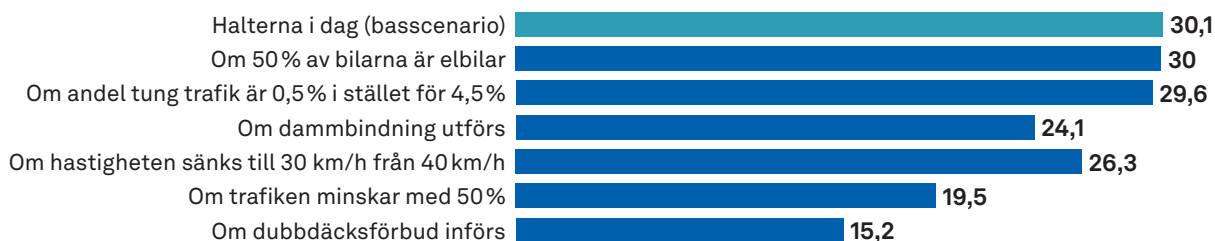
Figur 3. Olika åtgärders effekt på PM₁₀-halterna

Årsmedelvärde och 90-percentil av dygnsmedelvärdet (dvs. det 36:e högsta dygnsmedelvärdet under ett kalenderår) för beräknade halter av PM₁₀ på Kungsgatan i Norrköping. Staplarna visar hur halterna skiljer sig åt för ett antal olika scenarier som har simulerats med SIMAIR.

Olika åtgärders effekt på årsmedelvärdet av PM₁₀



Olika åtgärders effekt på 90-percentil av dygnsmedelvärdet av PM₁₀



■ Halterna i dag (µg/m³) ■ Halterna vid olika åtgärder (µg/m³)

Källa: SMHI.

olika parametrar som utgör indata i beräkningarna. Sex olika åtgärder för att förbättra luftkvaliteten utreddes och de beräknade halterna jämfördes med basscenariot.

De olika exempelåtgärderna framgår i figur 3 där årsmedelvärdet och 90-percentilen av dygnsmedelvärdet (dvs. det 36:e högsta dygnsmedelvärdet under ett kalenderår) presenteras för PM₁₀.

Staplarna visar den totala halten, dvs. regionalt (från Europa och övriga Sverige), urbant (från tätorten/staden) och lokalt bidrag från den aktuella vägen sammanslaget. SIMAIR ger användaren information om hur stor andel som kommer från lokal påverkan. I detta fall utgör det lokala bidraget från vägen drygt 50 procent av årsmedelvärdet, alltså drygt 8 mikrogram per kubikmeter.

Vilken spridningsmodell ska jag använda?

Det finns många modeller med olika komplexitet och användningsområden. Besök Reflab för luftkvalitet – modeller för stöd i modellval, smhi.se/reflab.

Dubbdäcksförbud och minskad trafik effektivaste åtgärderna

Beräkningarna visar att dubbdäcksförbud är den mest effektiva åtgärden för att sänka PM₁₀-halterna. Just dubbdäck är en välkänd orsak till utsläpp av PM₁₀, eftersom dubbarna ger slitage på vägbanan och då frigörs partiklar. I basscenariot antas dubbdäcksanvändningen vara 66 procent och i åtgärdsscenariot 0 procent. Denna åtgärd är till och med mer effektiv än att minska trafiken med 50 procent, vilket är den näst mest effektiva åtgärden i exemplet.



Dubbdäcksförbud är en effektiv åtgärd för att sänka PM₁₀-halterna.

Att sänka hastigheten på vägen, i detta fall från 40 km/h till 30 km/h, skulle också bidra till lägre halter, eftersom lägre hastighet ger lägre vägslitage och mindre uppvirvling av vägdam.

Ett par åtgärder som ger mindre effekt på årsmedelhalterna är minskad andel tung trafik och dammbindning. Andelen tung trafik är i basfallet 4,5 procent och i åtgärds-scenariot 0,5 procent. Effekten av denna åtgärd är dock mer betydande om man i stället studerar avgaspartiklar eller kväveoxider.

Dammbindning har störst effekt på våren

Dammbindning har en större effekt på dygnsmedelvärdet (90-percentilen) än på årsmedelvärdet. Åtgärden beräknas sänka årsmedelvärdet med mindre än 1 mikrogram per kubikmeter men om dygnsmedelvärdet (90-percentilen) betraktas syns en minskning med 6 mikrogram per kubikmeter. Detta kan förklaras av att dammbindning är effektivt just vid sen vinter/tidig vår, då vägarna är snöfria och torra och fordon fortfarande använder dubbdäck i stor utsträckning. Dagar med höga PM₁₀-halter infaller till stor del under denna period, och dessa halter kan dämpas med hjälp av utläggning av dammbindningsmedel. Metoden går ut på att belägga vägarna med fukt, och för att vägarna inte ska torka används en saltlösning som påverkar ångtrycket.

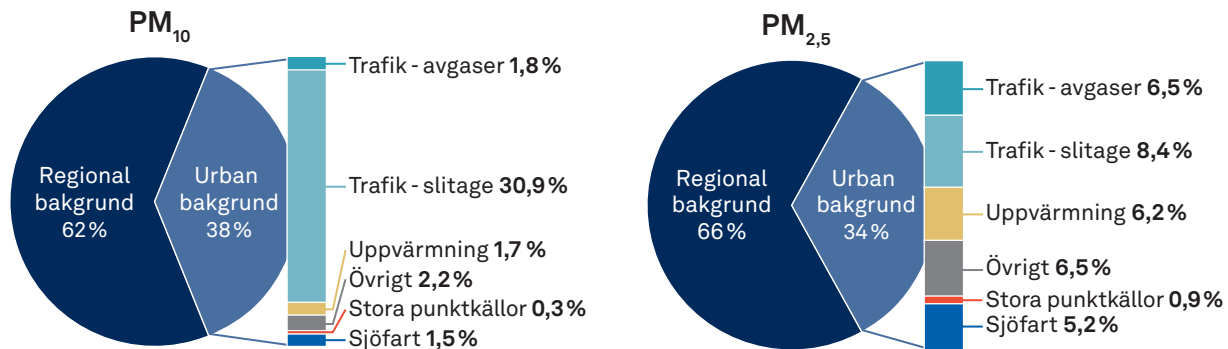
Fler elbilar leder inte till färre grova partiklar

En åtgärd som i princip inte påverkar PM₁₀-halterna alls är ökad andel elbilar. I detta scenario har andelen elbilar ökat från 1,1 procent till 50 procent av personbilarna. Så länge elbilar också använder samma andel dubbdäck kommer utsläppen av PM₁₀ att vara närmast oförändrade. Potentiellt kan

Foto: Adobe Stock

Figur 4. Källfördelning av haltbidrag ökar förståelsen

Modellerad fördelning av haltbidrag från olika källor vid en urban mätstation i Göteborg. Diagrammet till vänster avser årsmedel av PM₁₀ och det till höger avser PM_{2,5}. För det urbana bidraget av partiklarna fördelas även bidraget på olika utsläppskällor inom staden (i stapeldiagrammen till höger). Den tydligaste skillnaden mellan källfördelning för PM₁₀ jämfört med PM_{2,5} är att slitagepartiklar utgör en större del av PM₁₀. Partiklar från slitage utgörs till största delen av grova partiklar medan partiklar från förbränning (till exempel bilavgaser och vedrök) nästan uteslutande består av mindre partiklar (<2,5 µm).



Källa: SMHI

utsläppen av vägslitagepartiklar till och med bli större från elbilar, eftersom de generellt är tyngre på grund av sina batterier, vilket ger ökad friktion på vägbanan – något SIMAIR inte tar hänsyn till i dagsläget. Utsläppen av avgaspartiklar minskar dock i och med ökad andel elbilar, men att PM₁₀-halterna inte sjunker signifikant beror på att grövre partiklar från vägslitage står för en stor del av massan i PM₁₀.

Den uteblivna effekten till följd av ökad elektrifiering av bilflottan i beräkningen ovan är ett tydligt exempel på hur viktigt det är att förstå vilka utsläppskällor som bidrar till partikelhalterna.

Sammanfattningsvis kan spridningsmodellering användas för att utreda styrmedel och åtgärder innan de införs för att vi ska kunna välja lämpliga åtgärder utifrån effekt, kostnad och övrig påverkan. Spridningsmodeller är därmed en viktig pusselbit i ett effektivt luftvårdsarbete.

Text & kontakt:

Helene Alpfjord Wylde, SMHI
helene.alpfjord.wylde@smhi.se

David Segersson, SMHI
david.segersson@smhi.se

Ulrica Sievert, SMHI
ulrica.sievert@smhi.se

Lästips

Referenslaboratoriet för luftkvalitet – modeller. Information om spridningsmodeller, indata och åtgärdsarbete (smhi.se)

Luftwebb – tjänster inom luftmiljö för visualisering och nedladdning av svenska luftmiljödata (smhi.se)

Segersson, D. et al (2021). Near-source risk functions for particulate matter are critical when assessing the health benefits of local abatement strategies (mdpi.com)

Drömmen om det partikelfria samhället

Luftföroreningar är en av de största miljöriskerna för människors hälsa. Partiklar är den förorening som har starkast koppling till negativa hälsoeffekter, och alla haltnivåer är skadliga för hälsan. Ett helt partikelfritt samhälle är eftersträvansvärt, men sannolikt svårt att uppnå.

Om det i våra tätorter skulle vara möjligt att klara haltnivåerna för det svenska miljömålet Frisk luft vore det en stor vinst för folkhälsan. Detta innebär dock en mycket stor utmaning och omställning för samhället. Det finns tre sätt att minska hälsoeffekten av partiklar i luften – minska utsläppen, minska halterna av luftföroreningar och minska människors exponering. Vårt fokus i denna artikel är större städer där många exponeras för partiklarna.

Åtgärder för att minska utsläppen

Det snabbaste och mest effektiva sättet att minska halterna av partiklar i luften är att minska utsläppen. I stadsmiljö är transporter den största orsaken till partikelutsläpp, främst genom slitage av vägbanan. Andra källor som bidrar till partikelutsläpp är slitage från däck och bromsar,

avgasutsläpp från vägtrafik och sjöfart samt slitage från spårbunden trafik. Eftersom det är svårt att tekniskt minska mängden slitagepartiklar är begränsningar av vägtransporter nödvändigt. För att skapa god tillgänglighet med färre fordon på vägarna behöver vi utveckla en stad med närhet till vardagens behov – att skolor och förskolor ligger nära bostäder samt att leveranser sker samordnat underlättat.

Stadens transporter behöver i stor utsträckning ske genom gång och cykel kompletterat med en attraktiv och välfungerande kollektivtrafik. Därför behöver dessa trafikslag ges större utrymme i staden och stadsplaneringen. Gång och cykel har stor potential att ersätta framför allt korta bilresor i våra tätorter. Att erbjuda breda och gena gång- och cykelbanor i hälsosamma miljöer fyller viktiga funktioner, både för minskade utsläpp och för minskad exponering.



Stadsbana i stadsmiljö.

Källa: Målbild Koll2035 – kollektivtrafik för
stomnätet i Göteborg, Mölndal och Partille.



Cykeltransporter kan också användas för leverans av mindre gods, avfall eller vid flytthjälp, vilket har testats i olika städer i Sverige.

En viktig planeringsutmaning är parkeringsplatser – antal, placering och vad det ska kosta. Det finns vinster att hämta genom att ange en låg parkeringsnorm (dvs. kommunens regelverk för bilparkering vid ny- eller ombyggnation, anges vanligen som antal bilplatser per lägenhet, per anställd eller per kvadratmeter byggnadsyta) vid förtätning av våra städer. Då får fler lägenheter plats på samma yta till en lägre kostnad per lägenhet. Det

bör också vara enkelt och säkert att parkera sin bil i utkanten av tätorternas centrala delar i närheten av systemviktiga bytespunkter, för att därifrån åka kollektivt, cykla eller gå in till centrum.

I Sverige används dubbdäck under vintern och de sliter på vägbanan omkring 15 gånger mer än dubbria däck. Varje vår då vägbanorna torkar, och slitagepartiklar virvlar upp, överskrider miljö-kvalitetsnormernas nivåer i många städer i Sverige (se figur 1). För att minska slitaget väljs asfalt med relativt stora och hårda stenar. Nackdelen med större stenar är att vägen blir ojämn, vilket ger

Figur 1. Timmedelvärden av PM₁₀ i Skellefteå, Östersund, Hedemora och Södertälje

Uppmätta halter av PM₁₀ under år 2021 i fyra gaturum i Sverige. Resultaten visar att höga halter är vanligare under mars–maj jämfört med resten av året, till följd av den resuspension (uppvirvling) av partiklar som sker när gatorna torkar upp på våren. I synnerhet timmedelvärdena kan uppgå till mycket höga nivåer. Miljö kvalitetsnormen för PM₁₀ avser dygns- och årsmedelvärde.

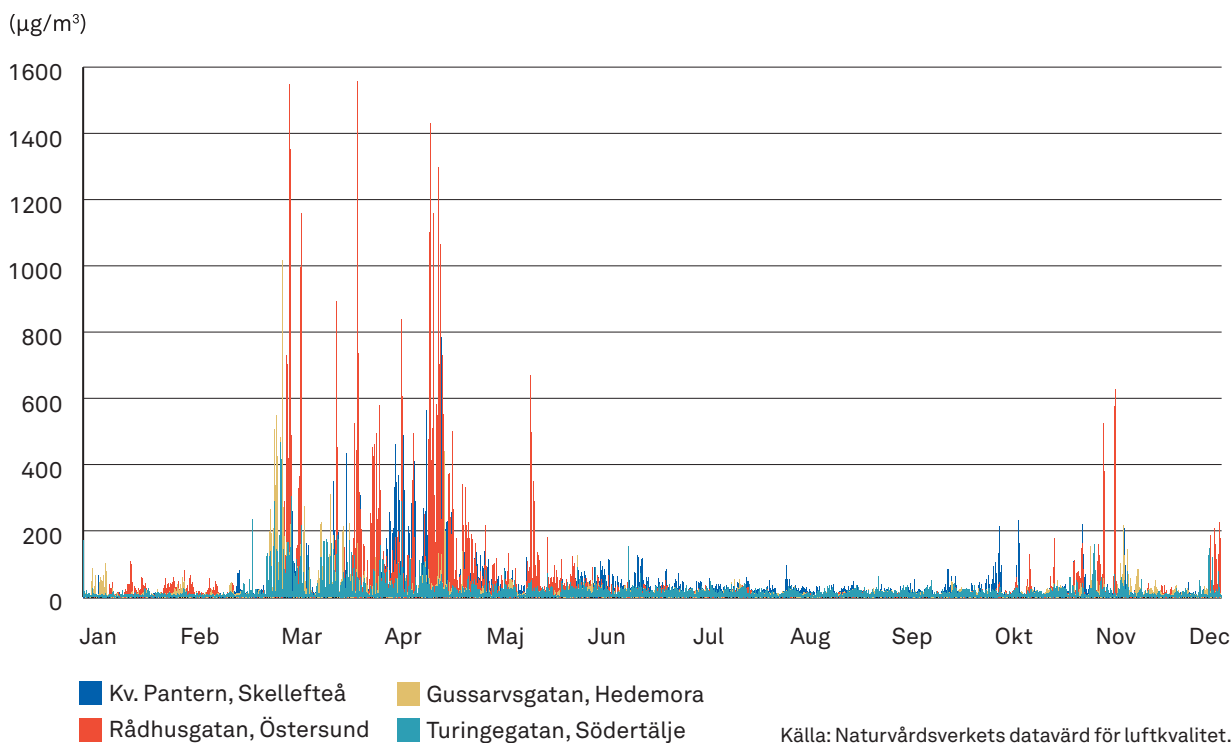




Foto: Unsplash

Förtätningen av städerna leder till ökade luftföroreningsnivåer eftersom föroreningarna stannar kvar längre i gaturummet. För god luftkvalitet är det bäst med öppen bebyggelse, till exempel punkthus.

högre bullernivåer. Det pågår en kontinuerlig utveckling av material och typ av vägbeläggning. Ett exempel är dränerande beläggningar, med hålrum mellan stenarna, som tillåter vatten och slitagepartiklar att passera ner i beläggningen. Detta minskar uppvirvlingen av partiklar och dämpar bullernivåerna kring vägen.

Åtgärder för att sänka halterna

I dag bygger vi våra städer tätare och högre än förut. Ett mål med förtätningen är att med många människor på en liten yta minskar behovet av resor och transporter samtidigt som kollektivtrafiken kan utnyttjas mer effektivt. Men tätheten innebär flera utmaningar, bland annat färre grönytor, mindre solljus samt sämre luftkvalitet. Smala gator med hög och sammanhängande bebyggelse medför en sämre omblandning av luften, vilket gör att föroreningar från trafiken stannar kvar i gaturummet och halterna blir höga (se figur 2). Eftersom vi samtidigt strävar efter levande gaturum med butiker, utserveringar och ett aktivt folkliv ökar människors

Figur 2. Föroreningar från trafiken stannar kvar i gaturummet

I ett gaturum bildas ofta en virvel där en del av luften, tillsammans med föroreningarna, stannar kvar i gaturummet.

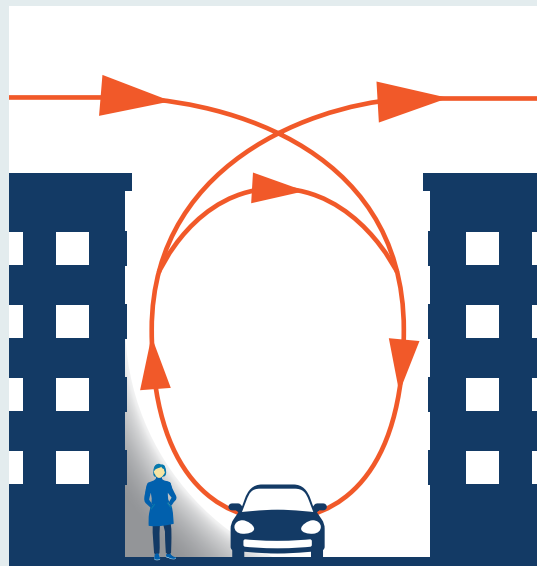


Illustration: Petra Wikström

exponering för skadliga halter av luftföroreningar.

I stort sett alla typer av förtätning av ett gaturum kommer att ge ökade luftföroreningsnivåer trots att utsläppen är desamma. Studier har visat att om ett öppet gaturum med gles bebyggelse förtätas med sammanhängande och hög bebyggelse kan luftföroreningshalterna öka flerfaldigt. Därför är det viktigt att planera för en bebyggelsestruktur som minimerar de negativa effekterna av förtätningen.

För god luftkvalitet är det optimalt med en öppen bebyggelse, till exempel punkthus, med god luftgenomströmning av gatan. En helt öppen bebyggelse är dock sällan önskvärd ur bulleraspekt, som i stället gynnas av slutna kvarter med tysta innergårdar. En helt slutna bebyggelse ger visserligen låga partikelhalter på innergårdarna, men är samtidigt det alternativ som ger de högsta halterna i gaturummet. En kompromiss kan vara att skapa ett antal öppningar i den slutna strukturen för att öka luftgenomströmningen och sänka halterna

något i gaturummet. Studier har även visat att en varierad byggnadshöjd kan ge viss positiv effekt på luftkvaliteten på grund av ökad nedblandning av renare luft i gaturummet. En annan möjlighet är att koncentrera trafiken till en gata i ett kvarter och använda byggnader för att hindra förorenad luft att spridas in i de miljöer som vi vill skydda. I de skyddade delarna kan bostäder och skolor placeras.

Att öka mängden vegetation i staden är ett attraktivt sätt att förbättra luftkvaliteten. När förorenad luft passerar genom vegetationen kan en del av partiklarna fastna på växtligheten. Varje höst, när växterna tappar sina löv, följer en viss mängd deponerade partiklar med och transporteras bort med löven. En del av partiklarna kan också regna av och hamnar i dagvattnet. Ökad mängd växtlighet ger också trivsel, skugga och ökad luftfuktighet. Med ökad luftfuktighet minskar partikelhalterna genom att fukten binder damm på olika ytor. Studier har visat upp till 10 procent minskad

Figur 3. Ökad växtlighet kan förbättra luftkvaliteten

Växtlighet bör placeras nära vägen där halterna är som högst, för att kunna fånga in så många partiklar som möjligt.



Illustration: Petra Wikström

partikelhalt genom ökad vegetation – men resultatet beror på hur växtligheten utformas, där både positiv och negativ påverkan på halterna kan ske.

- Placera växtligheten nära källan där halterna är högst. För utsläpp från vägtrafik innebär det på låg höjd nära vägen (se figur 3).
- Använd växtlighet med stor yta där partiklarna kan fastna, till exempel håriga och klubbiga blad eller barr.
- Den förorenade luften måste passera genom växtligheten och får inte hindras av exempelvis ett bakomliggande plank.
- Växtligheten får inte bidra till att föroreningar stängs in i gaturum där människor vistas, till exempel genom höga täta trädkronor (se figur 4).
- Vegetationen måste skötas under många år framöver. Detta kan säkerställas om kommunen äger vegetationen och allokerar resurser för skötseln.

Åtgärder för att minska exponering

Trots alla ansträngningar att minska halterna av partiklar i vår stadsluft kommer partikelhalterna sannolikt att vara högre än vi önskar under många år framöver. Ett sätt att påverka befolkningens exponering är att utforma stadsrummen så att platser med ren luft blir mer attraktiva att vistas på jämfört med platser med högre halter.

Hållplatser och stationer kan utformas med trevlig miljö och sittplatser en bit ifrån trafiken och dess utsläpp. Eventuella tak eller väderskydd på hållplatserna kan utformas för att förhindra föroreningar att nå väntplatsen utan att begränsa utspädningen av föroreningarna. Att skapa transportvägar för gång och cykel där partikelhalter är lägre, till exempel genom parkmiljöer eller avskärmat från vägtrafiken med ett tillräckligt högt plank eller en häck, kan ge god effekt på folkhälsan.

Figur 4. Alltför tät växtlighet kan stänga in föroreningarna

I gaturum med trafik kan höga trädkronor stänga in luften och exponeringen hos invånare öka jämfört med ett gaturum med fri utspädning.



Illustration: Petra Wikström



Flera av våra städer genomkorsas av större vägar eller leder med mycket trafik. I de fall det inte går att leda om vägen utanför staden kan ett alternativ vara att leda trafiken under mark. Uppe på markytan kan det skapas attraktiva stadsmiljöer med större utrymme för till exempel gång, cykel och grönska. Det är dock viktigt att komma ihåg att utsläppen från trafiken inte försvinner utan koncentreras till tunneldmyningarna där halterna kan bli mycket höga. På sådana utsatta platser behövs åtgärder, exempelvis rening av ventilationsluft eller att människor förhindras att vistas där.

Vi behöver åtgärder som löser flera problem samtidigt

Samhället strävar efter att minska befolkningens exponering för partiklar genom en god planering av staden. En genomtänkt bebyggelsestruktur, närhet mellan viktiga platser och åtgärder som att placera gång- och cykelbanor på platser med låga halter av partiklar kan bidra till bättre folkhälsa.

Samtidigt strävar vi efter att minska partikelhalterna genom att förbättra transporteffektiviteten och minska fordonstrafiken, men tyvärr ser vi inte någon minskning av de urbana fordonstransporterna. Ett problem kan vara att



Foto: Adobe Stock

samhället ofta inriktar sig på att lösa ett problem i taget eller att målbeskrivningen är otydlig. Exempelvis leder övergången till fossilfria bränslen till en minskning av utsläppen av fossil koldioxid, men det får ingen effekt på luftföroreningar, buller eller trängsel. Elfordon är positivt för avgasutsläpp och buller, men problemen med slitagepartiklar och trängsel kvarstår. Att arbeta för att faktiskt minska både godstransporter och personbilstrafiken, exempelvis genom förbättringar för andra transportslag eller transporteffektivisering, skulle lösa flera av ovanstående problem och leda till en mer varaktig förbättring av luftkvaliteten i stadsmiljön.

Text & kontakt:

Sara Janhäll, RISE, Research Institutes of Sweden
sara.janhall@ri.se

Annika Svensson, Länsstyrelsen Västra Götalands län
annika.o.svensson@lansstyrelsen.se

Lästips

Planering för ökad och säker cykling (boverket.se)

Cykelstaden – En idéskrift om stadsplanering för mainstreamcyklistens återkomst. White, Spacescape, ARQ, Vinnova (spacescape.se)

Lina Sandberg. Vad gör en stad cykelvänlig? En jämförande fallstudie av Helsingborg, Lund och Malmö (diva-portal.org)

Svenska Cykelstäder (svenskacykelstader.se)

Janhäll, S. (2015) Review on urban vegetation and particle air pollution Deposition and dispersion. (sciencedirect.com)

Paldanius, A. et al (2019). Grönska i relation till hälsa (amm.se)

Luftkvalitet i stadsutvecklingsprocessen. IVL C470 (diva-portal.org)

Luftkvalitet i stadsutvecklingsprocessen, del 2. IVL C464 (diva-portal.org)

Hållbar stadsutveckling – god luftkvalitet i framtidens täta och gröna städer? IVL C304 (ivl.se)

Ekosystemtjänster – en verktygslåda 1.0 (cocity.se)

Luftrening – PBL kunskapsbanken (boverket.se)

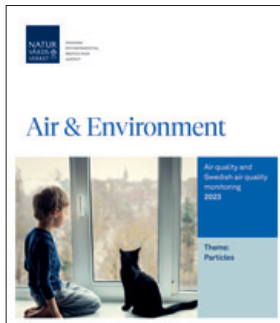
Hälsosamma stadsmiljöer med ren luft (boverket.se)

Abrahamsson, S. (2016). Vegetationens påverkan på luftföroreningshalter i urban miljö (gu.se)

God luft- och ljudmiljö i stadsplaneringen – En studie i byggnadstypologi och grönska för god luft- och ljudmiljö (chalmers.se)

Andra temarapporter från miljöövervakningen

Resultaten från den svenska miljöövervakningen behövs för att kunna beskriva tillståndet, upptäcka förändringar och bedöma hotbilder i miljön. Resultaten från de systematiska undersökningarna ligger också till grund för beslut om åtgärder. I miljöövervakningens temarapporter presenteras ett urval resultat på ett överskådligt sätt och sätts in i ett aktuellt sammanhang.



Air & environment 2023

Particles takes us on a journey among small, invisible particles that have huge socio-economic costs, mainly through the adverse health effects that they cause.



Luft & miljö 2017

Barns hälsa fokuserar på barnen och hur de påverkas av den luftkvalitet som omger dem, vilka hälsoeffekter som finns på kort och lång sikt, men också vilka möjligheter som finns att skapa en luftmiljö som är bra för barns hälsoutveckling.



Luft & miljö 2015 följer luftföroreningarna mot Arktis och visar vilken påverkan de har på luften och klimatet, dels i Arktis, men även som en följd av detta – för hela jordens klimat.



Air & Environment 2015

Arctic tracks air pollutants to the Arctic and identifies their impact on Arctic air quality and climate and, ultimately, their global impact.



Gifter & miljö presenterar resultat från den nationella miljögiftsövervakningen som mäter halter och påverkan av miljöfarliga ämnen i Sverige. Rapporten 2020 har temat nya utmaningar och gamla synder.



Skog & mark

Skog & mark presenterar resultat från miljöövervakningen av de svenska landmiljöerna. Rapporten 2020 har temat ekosystemtjänster och tar upp exempel på några av dessa tjänster och vilken miljöövervakning med koppling till dessa som bedrivs i dag.

Miljöövervakning för miljömålen

Resultaten från miljöövervakningen visar tillståndet i miljön och används för att bedöma om vi uppnår Sveriges miljökvalitetsmål. De 16 målen är beslutade av Sveriges riksdag och beskriver önskade tillstånd i miljön.

naturvardsverket.se/miljoovervakning
sverigesmiljomal.se

Luft & miljö

Luft & miljö 2023 – Partiklar tar oss med bland partiklar som är så små att de inte syns, men trots det ger upphov till stora samhällsekonomiska kostnader varje år, framför allt genom de negativa hälsoeffekter som de orsakar.

Går partikelhalterna åt rätt håll och gör vi vad som krävs? Finns det faktorer som riskerar att motverka en positiv utveckling?

För att kunna vidta rätt åtgärder är det viktigt att ha kunskap om partiklarna, att veta vilka källor de kommer från och vilka effekter de har. Forskning och politik har ett stort ansvar i att arbeta tillsammans för att vi ska kunna nå ett samhälle med så låga partikelhalter som möjligt. Det finns verktyg för att komma framåt – och det är viktigt att de används.

Resultaten från den svenska miljöövervakningen behövs för att kunna beskriva tillståndet, upptäcka förändringar och bedöma hotbilder i miljön. De är ett viktigt underlag till miljömålsuppföljningen och internationell rapportering. Resultaten från de systematiska undersökningarna ligger också till grund för beslut om åtgärder.

Partiklar övervakas i regional och urban bakgrund, tillsammans med ett antal andra luftföroreningar, inom ramen för Naturvårdsverkets Programområde Luft i den nationella miljöövervakningen. Kommunerna ansvarar för att kontrollera att miljökvalitetsnormerna för luft, däribland partiklar, följs.