

Projektet LoV-IoT: Luft- och vattenövervakning med Internet of Things

Koncept för att använda sensordata för att
validera spridningsmodeller

Rapportnummer R2020:21



Förord

Projektet Luft- och vattenövervakning med Internet of Things är ett innovations- och utvecklingsprojekt som har undersökt möjligheterna med att använda sensorer och Internet of Things (IoT) för att utveckla miljöövervakningen av luft och dagvatten i städer. Projektet har haft som mål att utveckla ett effektivare system för insamling av information om städers luft- och vattenkvalitet med målet att bidra till bättre hälsa hos medborgarna.

Projektet har pågått i tre år från hösten 2017 till hösten 2020 och var finansierat av det strategiska innovationsprogrammet IoT Sverige som en del av deras satsning på IoT för samhällsnytta.

Denna rapport syftar till att svara mot leverabel ”L6.3: Rapport som beskriver koncept för att använda sensordata för att validera spridningsmodeller”.

Rapporten är skriven av IVL, Hagström Consulting, RISE och Göteborgs Stad.

Projektet LoV-IoT: Luft- och vattenövervakning med Internet of Things

Koncept för att använda sensordata för att validera spridningsmodeller

Göteborgs Stad, miljöförvaltningen

Författare: Jenny Linden (IVL Svenska miljöinstitutet), Björn Hagström (Hagström Consulting), Peter Ljungstrand (RISE) och Ågot Watne (Göteborgs Stad)

ISBN nr: 1401-2448

Vill du använda text eller bilder ur denna rapport citerar du: Miljöförvaltningen Göteborgs Stad, R2020:21 Projektet LoV-IoT: Luft- och vattenövervakning med Internet of Things Koncept för att använda sensordata för att validera spridningsmodeller

Detta är en rapport i miljöförvaltningens rapportserie. Hela rapportserien hittar du på <https://goteborg.se/mfrapporter>

Sammanfattning

Studier som utvärderar luftkvalitetssensorer visar att man med hjälp av avancerad efterbehandling av data från sensorerna kan minimera felen och öka datakvaliteten (e.g. Kizel et al 2018, Rai et al 2017). Detta kan öppna för större användning av billiga sensorer för att validera spridningsmodeller, och kanske även möjliggöra att data från medborgarinitiativ kan användas för att komplettera officiell miljöövervakning på sikt. I nuläget finns dock betydande hinder för detta. Problematiken med användning av halter uppmätta i medborgarinitiativ, som sensor.community och luftbubblan.se, kan sammanfattas i följande tre punkter:

- **Otillräcklig prestanda och kvalitetskontroll av data**
Många vetenskapliga studier har visat att mätnoggrannheten hos billiga sensorer inte är tillräcklig för användning utan vidare utvärdering och efterbehandling av data. För att skapa möjligheter för att mätningar i medborgarinitiativ ska kunna användas för validering av spridningsmodeller skulle det sannolikt krävas omfattande expertutvärdering av sensorernas prestanda tillsammans med avancerade korrigeringsalgoritmer som appliceras på mätdata. Även med dessa steg finns det sannolikt sensorer som är olämpliga för användning för validering av spridningsberäkningar och det är därför mycket viktigt att vara medveten om sensorernas begränsningar i varje enskilt fall.
- **Otillräcklig datatäckning**
Eftersom höga krav på datatäckning ställs på sensorer som används i officiella syften krävs ett kontinuerligt underhåll och snabba åtgärder då en sensor slutar att skicka in data. I jämförelsen visade det sig att endast cirka 20 procent av sensorerna uppfyllde dessa krav. För att sensordata ska kunna användas för validering av spridningsmodeller behöver därför höga krav ställas på underhåll av sensorerna, vilket kan vara svårt i ett medborgarinitiativ.
- **Otillräcklig information om mätplats**
Naturvårdsverkets Luftguiden innehåller tio sidor med en beskrivning av hur instrument ska placeras, eftersom det har betydande påverkan på uppmätta halter. Till exempel avtar halter ofta snabbt med ökad höjd över marken. I medborgarinitiativ är det ofta svårt att styra var deltagarna placerar sina sensorer, och information om placering är sällan tillgänglig. Det är därför svårt att veta om uppmätta halter är representativa för platsen eller om sensorns placering orsakar avvikande halter. I luftdata är det frivilligt att lägga in information om sensorns placering, men på grund av det begränsade antalet sensorer var det inte möjligt att göra någon utvärdering av om denna information kan förbättra jämförelsen, eller förklara avvikelser.

För att mätningar från medborgarinitiativ i framtiden ska kunna komplettera den officiella miljöövervakningen, och användas för till exempel validering av spridningsmodeller, krävs alltså att initiativen ställer krav på kontroll av

prestanda hos de sensorer som används, att sensorerna underhålls och hanteras på ett sätt så att datatäckningen ökar, samt att sensorerna placeras så att mätningarna blir jämförbara. Sannolikt skulle detta kräva betydligt större engagemang och kunskap hos deltagarna, samt i vissa fall högre kostnader.

Frågan är om det är möjligt att ställa dessa krav med bibehållet intresse hos medborgarna, eller om det är att föredra att se dessa mätningar som något som väcker intresse för luftkvalitet, är roligt för deltagarna, och ger underlag för diskussioner inom ämnet? Vi tror att det är möjligt att öka kvaliteten och skapa förutsättningar för att vi ska kunna identifiera vilka mätstationer i medborgarinitiativ som uppfyller de krav det offentliga luftkvalitetsmätningarna ställer på placering och datatäckning. Troligtvis kommer inte data från alla sensorer inom ett medborgarinitiativ att godkännas, men det är inte så viktigt så länge det går att identifiera de som har tillräckligt bra kvalitet och möjlighet att använda deras data.

Vi tror också att intresset från privatpersoner att mäta luftkvalitet kommer öka på sikt. Ett tecken på detta är att antalet deltagare i Luftbubblan på Facebook hela tiden ökar. Allt fler undersökningar och studier visar på hur stort luftkvalitetsproblemet är och hur stora vinsterna med förbättrad luftkvalitet är. Att det verkar finnas en koppling mellan dålig luftkvalitet och ökad dödlighet i Covid-19 ökar också medvetenheten om frågan. Det är viktigt och intressant att följa och stötta denna utveckling för att öka chanserna att data även på sikt ska kunna användas som komplement till officiella mätningar. Även EU-kommissionen förordar en liknande utveckling där medborgare frivilligt bidrar med data. I den europeiska datastrategin (European Commission, 2020) nämns Data Altruism, alltså att vanliga människor frivilligt kan bidra med data för samhällets bästa, som ett exempel som bör stödjas av kommande initiativ och lagstiftning.

Det finns också andra möjliga användningsområden för dessa billigare sensorer som att privatpersoner kan mäta partiklar vid eldning i kamin eller vid renovering hemma. Detta är mätningar som ofta faller utanför det offentliga uppdraget kring mätning av luftkvalitet men som kan vara väldigt viktigt för den enskilda medborgaren. Det offentliga har heller inte resurser att mäta för att undersöka specifika, riktade frågeställningar på samma sätt som medborgare själva kan göra med enklare sensorer. Detta är områden som är viktiga att undersöka mer framöver inom andra projekt och insatser.

Innehåll

1	Introduktion.....	6
2	Medborgarinitiativ för luftkvalitet	7
2.1	Gruppen Luftbubblan på Facebook.....	8
3	Metoder för luftövervakning.....	10
4	Användning av spridningsmodeller för kartläggning av luftkvalitet.....	12
4.1	Validering av spridningsmodeller	12
5	Fallstudie: Jämförelse av halter uppmätta inom medborgarinitiativet Luftdata och beräknade halter	14
6	Referenser.....	18

1 Introduktion

Luftföroreningar har negativ påverkan på både människa och miljö, och övervakning av dessa är viktigt för att säkerställa att föroreningshalter inte överskrider hälsofarliga nivåer. Traditionellt har mätningar av föroreningshalter i Sverige skett inom den kommunala miljöövervakningen, där till exempel mätningar vid referensstationer kompletteras med spridningsberäkningar för att få en god bild av luftkvaliteten i större städer (figur 1).

Ny teknik och billigare luftkvalitetssensorer har gjort det enklare för privatpersoner att själva mäta luftföroreningshalter, vilket resulterat i bildandet av flera olika medborgarinitiativ, till exempel Sensor.Community (före detta Luftdaten) samt [Hackair](#) för gemensam luftkvalitetsövervakning. Dessa initiativ tillgängliggör information om luftföroreningshalter på fler platser än de som blir kartlagda i den kommunala miljöövervakningen. I dagsläget kombineras dock inte data från medborgarinitiativ med kommunal miljöövervakningsdata, eftersom bland annat kvaliteten på sensorer, data och datahantering inte uppfyller de krav som lagen ställer på sådana mätningar.

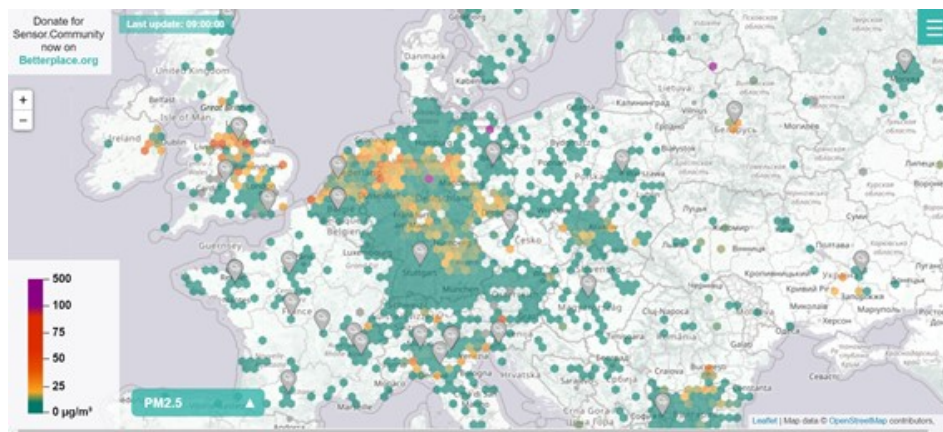
I den här rapporten undersöker vi förutsättningarna för att kunna använda data från ett av dessa medborgarinitiativ för att validera och ge input till de spridningsberäkningar som kommunerna gör som en del av luftvårdsarbetet. Vi identifierar vilka möjligheter och hinder som finns för att använda dessa data, och presenterar en enklare fallstudie där data från Sensor.Community-initiativet jämförs med beräknade halter.

2 Medborgarinitiativ för luftkvalitet

Det finns många initiativ för mätning av luftkvalitet med sensorer, till exempel rena medborgarinitiativ som [Hackair](#) och tyska Sensor.Community, samt kommersiella aktörer som belgiska [InfluencAir](#) och [OpenSensemap](#).

Tyska Luftdaten har nyligen bytt namn och heter nu Sensor.Community (vilket också är deras webbadress). Sensor.Community startade ur ett missnöje och misstro kring hur tyska städer mätte luftföroreningar och misstankar om att de brydde sig mer om bilindustrin än miljön. Att börja med att placera ut många billiga mätstationer var ett sätt att skaffa egen kunskap och utifrån den påbörja ett samtal om frågan.

En av Sensor.Communitys stora styrkor är öppenheten. Plattformen bygger på öppen källkod, det finns stora möjligheter att hämta och använda data. Det finns också en aktiv gemenskap som kontinuerligt utvecklar plattformen och de komponenter som hör till denna. Vem som helst har möjlighet att identifiera en utmaning och bidra till att lösa den och göra det till en del av lösningen för hela gemenskapen. Filosofin bakom valet av Sensor.Communitys mätstationer är att de ska vara billiga, enkla att sätta ihop och komma igång med.



Figur 1. En skärmdump från medborgarinitiativet Sensor.Community som visar en visualisering av föroreningshalter i Europa

Eftersom några partners inom projektet LoV-IoT är aktiva i den svenska associerade Luftdata-föreningen och sitter i styrelsen, har olika delar av projektet kopplats till just detta medborgarinitiativ.

Tekniken och plattformen som används inom Sensor.Community har blivit använd vid öppna, offentliga aktiviteter, som bland andra Vetenskapsfestivalen i Göteborg, för att skapa intresse för luftkvalitet och egengenererade data hos medborgare. Medborgare har då själva fått bygga ihop sensorer som de sedan får montera upp på valfri plats där de rapporterar mätdata till Sensor.Communitys visualiseringsplattform (se figur 1). Vi har även valt att basera fallstudien i denna rapport på data från detta initiativ.

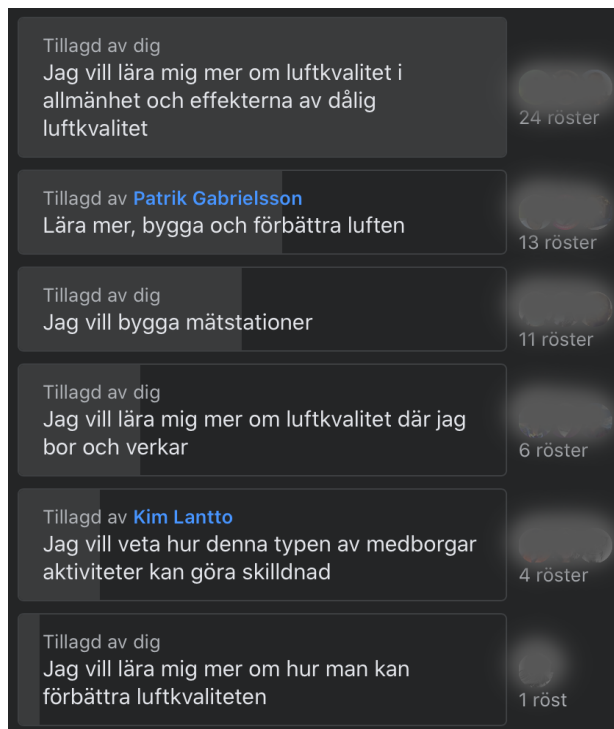
2.1 Gruppen Luftbubblan på Facebook

I Sverige är den största gemenskapen kring luftkvalitet den som finns i Facebookgruppen Luftbubblan med över 700 medlemmar. Gruppen startades i slutet av 2017 som ett resultat av att privatpersoner i Sverige börjat bygga den typ av mätstationer som den tyska grupperingen Luftdaten designat och använt. I gruppen samlas främst privatpersoner som är intresserade av luftkvalitet på olika sätt men även medarbetare inom akademi, offentlig sektor och från näringslivet är aktiva. Ursprunget i gruppen kommer av behovet av att få stöd i att bygga mätstationer och att få hjälp att konfigurera och driftsätta dem. Nu förs dock allt mer allmänna diskussioner om luftkvalitet och effekterna av dålig sådan och kunskapsnivån och medvetenheten ökar hela tiden hos deltagarna genom gemensamma ansträngningar och kunskapsdelning.

Krafterna som startat Luftbubblan och drivit arbetet med att bygga mätstationer har sedan också startat den ideella föreningen Luftdata som ska främja mätning av och kunskap om luftkvalitet ur olika aspekter.

För att få en bättre bild av drivkrafterna bakom att engagera sig i Luftbubblan på Facebook, ställde vi ett par öppna frågor i forumet. Den första var: ”Varför är du med i Luftbubblan?” och vad 59 deltagarna i gruppen har svarat per

17 augusti 2020 framgår i från figur 2. De svarande hade även möjlighet att själva lägga till svarsalternativ om de saknade ett sådant.



Figur 2. En skärmdump av svar på frågan "Varför är du med i Luftbubblan?" ställd i Facebookgruppen Luftbubblan den 19 april–17 augusti 2020.

Undersökningen visar att den absolut största drivkraften var en önskan om ökad kunskap om nuläget kring luftkvalitet. Att mäta luftkvalitet ger i sig inte så mycket ökad kunskap då man behöver mer än bara mätresultaten för att kunna tolka dem. Denna kringkunskap finns delvis i Luftbubblan och kunskapen bland deltagarna ökar hela tiden genom gemensamma ansträngningar. Detta är en utveckling som fortfarande är i sin linda men som kommer att kunna utvecklas mer och mer i takt med att gemenskapen blir större och mer etablerad.

Den fråga som fått näst flest markeringar är tillagd av en av de svarande och täcker in många aspekter; att man vill ha kunskap, bygga mätstationer och förbättra luften. Det tredje mest populära alternativet rör teknikintresset, man vill bygga mätstationer helt enkelt. Svaren på den öppna frågan är i linje med de erfarenheter som vi har från att bygga mätstationer på Vetenskapsfestivalen. De som deltar har ofta främst ett teknikintresse, men vill även lära sig mer om luftkvalitet.

Det är intressant att endast en person valt att den stora drivkraften är att man vill lära sig mer om hur man kan förbättra luftkvaliteten. Om detta beror på ointresse för frågan, eller på att man inte ser det som en möjlighet att själv påverka är dock inte klarlagt. Sannolikt kommer det alltid att finnas en större grupp som mäter och en mindre grupp med ett djupare intresse av luftkvalitet. Men det betyder att ju fler vi får att mäta desto fler borde få ett intresse av att lära sig mer, påverka sin omvärld samt förstå hur de själva kan bidra till en bättre luftkvalitet.

3 Metoder för luftövervakning

Luftkvalitetsövervakningen i Sverige utgår ytterst från EU:s luftkvalitetsdirektiv (European Union 2008), men påverkas även i stor utsträckning av den svenska förvaltningsmodellen och av hur riksdagen har valt att implementera EU:s direktiv i svensk lagstiftning. Att följa luftdirektivet skapar förutsättningar för att få jämförbara luftkvalitetsmätningar genom att arbeta med standardiserade mätmetoder och följa riktlinjerna för val av mätplats. Exempelvis reglerar luftdirektivet vilka mätmetoder som är godkända, hur man säkerställer hög datakvalitet, på vilken höjd man ska mäta och avstånd från vägen och korsningar. Varje år rapporteras luftkvalitetsdata till Naturvårdsverkets datavärd. I rapporteringen är datatäckning ett nyckelbegrepp. Datatäckningen beskriver hur stor del av tiden som det kommit in data från ett mätinstrument. Till exempel, för att kunna rapportera ett giltigt timvärde, så behöver man ha en datatäckning på 75 procent av minutvärdena för den timmen. Motsvarande för ett giltigt dygnsvärde är 75 procent av timvärdena, och för ett giltigt årsmedel 90 procent av timvärdena (eller dygnsvärdena).

De instrument som används inom den kommunala och nationella miljöövervakningen bygger som regel på avancerad och dyr teknik. Det har tidigare därför varit svårt för medborgare att utföra egna mätningar. Det är dock inte bara mätinstrumenten som är avgörande för att få jämförbara mätningar av hög kvalitet. Att mätningarna ska hålla så hög kvalitet som möjligt kräver dessutom regelbundet underhåll och kalibrering av mätinstrument.

Det senaste årtiondet har en stor mängd billiga sensorer blivit tillgängliga vilket underlättar för medborgare att själva mäta luftkvalitet. När prestanda, datakvalitet, och användbarhet av dessa sensorer har blivit utvärderade i vetenskapliga studier har det dock inte helt oväntat visat sig att det lägre priset också innebär en lägre kvalitet (e.g. Karagulian et al 2019, Borrego et al 2018). Till exempel gäller den sensorprecision som anges av tillverkaren sällan vid användning utomhus.

De huvudsakliga problemen med många billiga sensorer kan sammanfattas i följande punkter:

- Sensorerna är instabila, med otillräcklig sensitivitet och precision för att korrekt visa den förorening den ska mäta.
- Sensorerna blir påverkade av annat än luftföroreningen den är tänkt att mäta. Till exempel kan även förändring i meteorologiska parametrar, såsom temperatur eller luftfuktighet, ge felaktigt utslag i sensorn. Även förändring i andra föroreningar än den som sensorn ska mäta kan påverka data.
- Sensorn har ofta kort livstid och blir relativt snabbt sämre på att korrekt mäta föroreningshalter.

Som så ofta med billig teknik, tenderar dessa sensorer att gå sönder lätt, vilket kräver underhåll, reparationer och ibland ersättning av sensorn för fortsatt mätning. Samtidigt visar vetenskapliga tester att man med hjälp av avancerade efterbehandling av data från sensorerna kan minimera felen och öka datakvaliteten. Sammantaget finns många användningsområden för billiga sensorer, men det är viktigt att vara medveten om sensorernas begränsningar, samt att det kan komma att krävas en omfattande arbetsinsats för att upprätthålla mätningar med acceptabel datakvalitet.

4 Användning av spridningsmodeller för kartläggning av luftkvalitet

Inom den nationella och kommunala miljöövervakningen sker mätningar på ett fåtal, väl valda platser. För att få en indikation om luftkvaliteten på platser där det inte finns någon mätstation, kan beräkningsmodeller användas för att simulera spridning av föroreningsutsläpp. Dessa spridningsmodeller används ofta i urbana miljöer där utsläpp tenderar att vara högre på grund av, till exempel, trafik, industrier och andra förorenande aktiviteter. Genom att kombinera information om utsläpp, meteorologiska parametrar såsom vind, och geometrisk utformning av platsen (till exempel topografi, bebyggelse, vegetation) kan resulterade halter i hela området beräknas. Till exempel har miljöförvaltningen i Göteborg genomfört spridningsberäkningar av kvävedioxidhalter över Göteborg (se lager som kan läggas till i [Miljöförvaltningens karta](#)). Kvävedioxid är den luftförorening som är mest problematisk i staden. Spridningsberäkningar har gjorts även för Stockholms stad, för både kvävedioxidhalter och luftburna partiklar ([SLB Luftföroreningskartor](#)).

Det finns ett stort antal olika datormodeller som tagits fram för att beräkna spridning av utsläpp i olika stadsmiljöer – från översiktliga beräkningar för hela städer ner till högupplösta beräkningar i ett gaturum. Avseende alla spridningsberäkningar är det viktigt att komma ihåg att de endast representerar en förenklad beskrivning av alla de komplexa processer som påverkar luftkvaliteten i verkligheten. Målet med beräkningsmodellerna är att de viktigaste processerna blir beskrivna på ett verklighetstroget sätt, så att resultatet beskriver verkligheten så bra som möjligt. Alla beräkningar innehåller osäkerheter i flera steg, och ju större komplexitet som modellen har, desto fler osäkerheter är inkluderade. Det är därför mycket viktigt att minimera osäkerheterna i modellberäkningarna. Osäkerheterna kan minimeras genom att den indata som används som grund för beräkningarna (till exempel utsläpp av föroreningar, vind, geometri och topografi) håller hög kvalitet och är så representativ för verkligheten som möjligt.

4.1 Validering av spridningsmodeller

Förutom att kvaliteten av indata bör vara hög är det också viktigt att de beräkningar som sker i modellen beskriver processerna i verkligheten på ett bra sätt. För att säkerställa att modellerna ger realistiska och relevanta resultat är de flesta modeller noggrant validerade, det vill säga testade, med resultat publicerade öppet eller i vetenskapliga artiklar (e.g. Leelőssy et al 2014, Tominaga and Stathopoulos 2013, Gulia et al 2015). Vanligtvis görs valideringen genom att beräknade halter jämförs med uppmätta halter under samma förhållanden. Om halterna stämmer överens, och beräknade halter förändras på ett liknande sätt som uppmätta halter, indikerar detta att modellen

ger en representativ beskrivning av det aktuella området. Att det finns bevis för att modellen presterar väl på en plats behöver dock inte betyda att den presterar lika bra om beräkningarna blir genomförda på en annan plats eller under andra förhållanden, och det är därför alltid rekommenderat att validera modellen för varje ny plats där den ska användas.

När beräkningsmodeller används för att undersöka om lagstiftning uppfylls finns rekommendationer för hur beräkningarna ska genomföras i Naturvårdsverkets dokument Luftguiden (Naturvårdsverket 2019). Guiden beskriver hur val av lämplig modell görs, vikten av hög kvalitet och representativitet hos data som används som grund till beräkningarna, hur validering och eventuell korrigering av beräkningsresultaten bör gå till, samt hur stor avvikelse som tillåts i beräknade halter jämfört med uppmätta halter. Vidare beskrivs i Luftguiden att *“I första hand ska mätdata som används för jämförelse med modelldata utgöras av mätningar med referensmetod eller annan likvärdig metod, i andra hand med mätningar med annan standardiserad metod”*.

Då mätningar med referensmetod sker på relativt få platser är sådana inte alltid tillgängliga för validering av beräknade halter varför jämförelser med mätningar med annan standardiserad metod ofta blir nödvändig. För alla valideringsmätningar är det också viktigt att mätningen skett på en plats som är representativ och lämplig för jämförelse med de beräknade halterna. Det betyder att mätinstrumentet ska vara placerat på en lämplig höjd, och att luftflödet runt instrumentet är obehindrat. Till exempel är halter uppmätta vid ett fönster på tredje våningen inte lämpliga för validering av beräknade halter i marknivå på trottoaren utanför huset (vanligen runt 1,5 meter). Detta på grund av att halter förändras med höjd över marken, och att mätningar i direkt anslutning till en vägg riskerar att vara påverkade av ett förändrat luftflöde vid väggen.

Att använda resultat från mätningar med sensorer i medborgarinitiativ för validering av modeller kan vara intressant eftersom dessa vanligen sker på fler platser än den kommunala miljöövervakningen, flera faktorer hindrar dock möjligheterna för dessa sensorer att ge pålitliga resultat. Dels saknas ofta detaljerad information om sensorernas placering, och dels är sensorernas prestanda ofta otillräcklig, det vill säga risken för felaktiga mätvärden är för stor för att resultaten ska vara pålitliga. Det finns dock exempel på vetenskapliga studier där sensorer och modeller används i kombination: Oslo (iFlink) och Helsingfors (HOPE). I dessa studier är sensorernas placering och underhåll väl dokumenterade, och dess prestanda noga kontrollerad, med grundliga tester och applicering av korrigeringsalgoritmer vid behov.

5 Fallstudie: Jämförelse av halter uppmätta inom medborgarinitiativet Luftdata och beräknade halter

Eftersom det idag inte finns några medborgarinitiativ där krav ställs på validering och placering av sensorn, finns det heller inte några egentliga möjligheter att testa om sådana typer av mätningar är lämpliga för officiell validering av spridningsmodeller.

För att undersöka om det finns någon överensstämmelse mellan halter från sensormätningar och beräknade halter trots avsaknad av krav på prestanda, underhåll eller placering, och därmed någon potential för validering av beräknade halter, har en enklare fallstudie blivit genomförd där halter uppmätta inom initiativet luftdata.se jämförs med beräknade halter i Stockholms stad.

Sensorerna för partikelmätning som används inom luftdata-initiativet är av modellen SDS011. Användningen av SDS011 är relativt utbredd, och sensorn har blivit testad i flera studier (e.g. Liu et al 2019, Tagle et al 2020), vilket visat att sensorn återger halter och variationer av den mindre partikelfraktion, PM2.5, med en någorlunda noggrannhet (Badura et al., 2018; Liu et al., 2019). Dock är prestandan väsentligt sämre avseende den större partikelfraktion, PM10. Testerna visar även att SDS011 påverkas av luftfuktighet, vilket till exempel gör att halter riskerar att överskattas vid hög luftfuktighet.

Eftersom det generellt är privatpersoner som placerar ut sensorerna i medborgarinitiativen, saknas ofta kunskap och erfarenhet om mätningar och placering av mätstationer, vilket kan ge betydande påverkan på kvaliteten och användbarheten av data som produceras. Vidare är också den metadata som finns om stationernas placering ofta begränsad. Inom Luftdatainitiativet finns möjlighet (men inte krav på) att ange hur mätaren är placerad, så som höjd över mark. Det är dock endast möjligt att hämta ut koordinater för mätarens placering inom en 500 metersradie, och övrig information är inte öppen via deras API och den ytterligare informationen har då begränsat värde.

För att kunna utnyttja befintliga kartor och kunna använda så många sensorer som möjligt har denna enklare jämförelse blivit gjord för Stockholmsområdet. I Stockholmsområdet finns flest aktiva sensorer, och där finns även öppet tillgängliga kartor över beräknade haltintervall för partiklar (www.slb.se). Dessa kartor finns dock bara för PM10, vilket har begränsat jämförelsen till denna partikelfraktion. Det är inte optimalt eftersom SDS011 är bättre lämpad för mätning av PM2.5, men utifrån förutsättningarna är det den enda möjliga jämförelsen. Beräknade halter finns dessutom bara för år 2015, medan mycket få mätningar inom luftdata-initiativet finns från 2015.

Initiativet har tagit fart de senaste åren, och betydligt fler sensorer mäter aktivt idag. Eftersom halt generellt varierar mellan jämförelser (på grund av variationer i bland annat väder) fokuserar vi därför på att jämföra hur mönster i haltnivå varierar mellan olika år. En direkt jämförelse av halter inte är därför möjlig, och i jämförelsen fokuserar vi därför i huvudsak på om mönster och variationer i de uppmätta halterna följer de mönster och variationer som finns i de beräknade halterna.

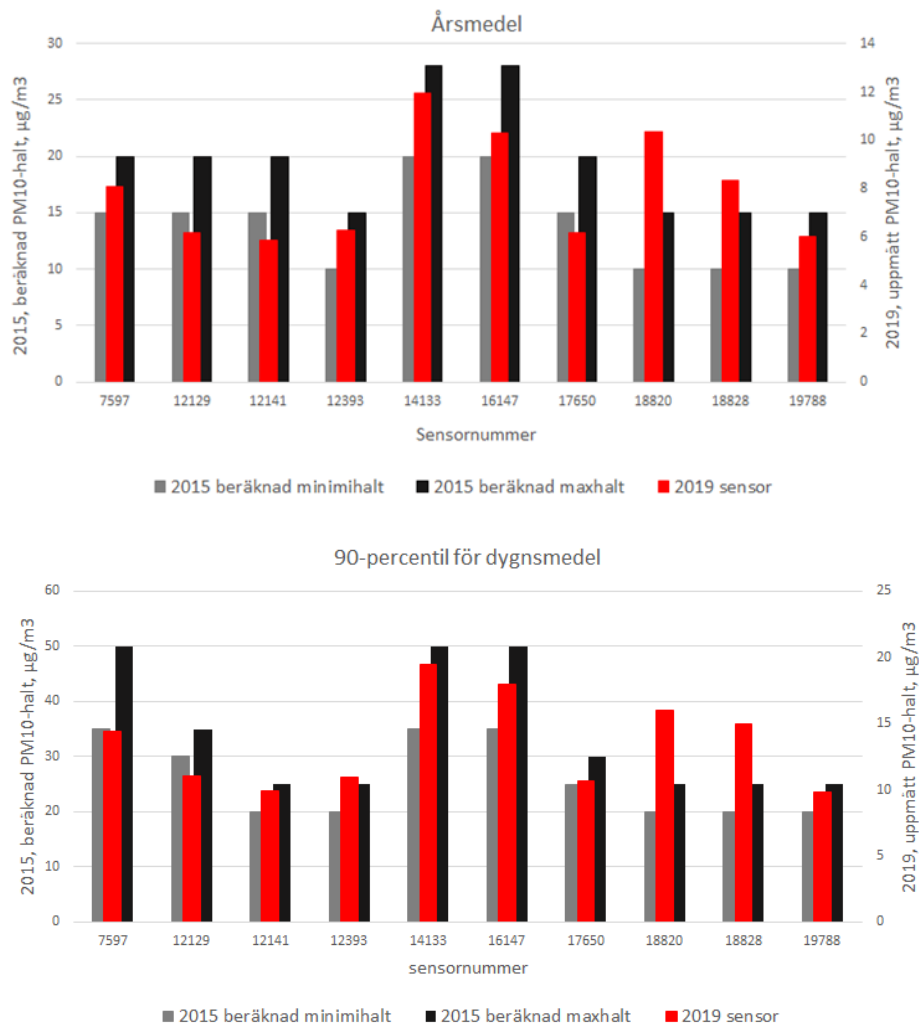
Med hjälp av Miska Knappek, styrelseledamot i den svenska avdelningen av luftdata-initiativet, har vi hämtat ut data från samtliga sensorer inom en radie av ungefär 20 km från Stockholm central, totalt 49 sensorer. Från dessa sensorer har årsmedelvärde, samt 90 percentil för dygnsmedelvärde beräknats för de sensorer som uppfyllde kraven för datatäckning som gäller för referensmätningar (Naturvårdsverket, 2019). Dessa mått har blivit utvalda eftersom det är de som specificeras i miljö kvalitetsnormerna, och följaktligen är de som har beräknats i kartorna för Stockholms stad.

Tillräcklig datatäckning innebär att sensorn måste ha varit igång och mätt aktivt minst en viss del av tiden för att till exempel medelvärden ska anses representativa. Till exempel, om en sensor saknar många mätvärden under våren, då partikelhalter generellt är som högst, skulle sannolikt ett årsmedelvärde beräknat på data från den sensorn bli för lågt, och alltså inte vara representativt för året. Varje enskild timme som uppmätts måste ha minst 75 procent täckning för att ge ett godkänt timmedelvärde. För att beräkna årsmedel måste det finnas medelvärden för minst 90 procent av årets timmar, och för beräkning av dygnsmedel måste det finnas medelvärden för minst 75 procent av dygnets timmar.

Endast 10 av de ursprungliga 49 sensorerna inom det angivna området uppfyllde kraven på datatäckning under det år som flest sensorer var igång, 2019 (se figur 5). För koordinaterna som angetts för dessa 10 sensorer hämtades beräknade haltintervall för motsvarande punkter utifrån Stockholms stads kartor.

I figur 6 visas max (svart) och min (grått) för beräknat årsmedel (ovan) respektive 90-percentil (under), tillsammans med motsvarande halter uppmätta med sensorerna (rött). Staplarna i diagrammen refererar till olika axlar i diagrammet (beräknade halter till vänstra y-axeln, och uppmätta till höger). Sensorerna uppvisar genomgående betydligt lägre halter (årsmedel: 6-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, percentil: 10-19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) än de beräknade halterna (årsmedel: 15-28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, percentil: 20-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Eftersom halterna avser olika år, med olika vädertyper, är det osäkert att dra för stora slutsatser av denna jämförelse. Dock ligger årsmedel uppmätt vid referensstationerna i Stockholm under 2019 inom liknande haltintervall som de beräknade halterna 2015 (årsmedel mellan 13 och 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, percentil mellan 26 och 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, information från Stockholms stad), vilket tyder på att den betydande underskattning av halter uppmätta med sensorerna som kan ses i graferna är realistisk. Jämförelsen pekar därmed på att haltnivåerna hos sensorerna inte är representativa.

Betydande avvikelser återfinns även då mönster i halterna jämförs. Om beräknade och uppmätta halter hade samvarierat, så att högsta uppmätta halterna återfinns på samma ställe som de högsta beräknade halterna och vice versa, hade detta pekat på att relevant information finns att hämta i sensordata, även om själva nivån i mätdata ligger för lågt. I jämförelsen finns svaga indikationer på samvariation, men samtidigt återfinns några av de högsta uppmätta halterna på samma plats som de lägsta beräknade halterna i jämförelsen, vilket tyder på en stor osäkerhet i data.



Figur 3. Stapeldiagram över max (svart) och min (grått) beräknat årsmedelhalt (ovan) respektive 90-percentil (under) av PM10, tillsammans med motsvarande halter uppmätta med sensorerna (rött). Notera att beräknade halter refererar till den vänstra y-axeln, och uppmätta halter till den högra y-axeln).

Sammantaget visar jämförelsen på en stor osäkerhet och betydande avvikelser i sensordata. Tillsammans med resultat från vetenskapliga studier pekar det mot att data i detta medborgarinitiativ, i nuvarande utformning, inte kan användas för validering av spridningsmodeller. Det är möjligt att osäkerheten skulle sänkas om fler sensorer uppfyllde datatäckningskraven, och därmed kunde inkluderas i studien.

För validering av beräknade halter är det dock viktigt att de variationer som uppmäts är sanna, det vill säga att de beror på variation i halter och inte på variation i placering av sensorer eller felaktiga mätvärden, vilket verkar vara fallet i dessa sensormätningar. Dessutom skulle den betydande underskattning av halter som återfanns i samtliga sensorer sannolikt kvarstå även vid tillägg av ytterligare sensorer.

För att sensormätningarna ska vara relevanta för validering av beräknade halter krävs pålitligare mätdata där sensorns prestanda, placering och underhåll är kända, samt att relevanta korrigeringsalgoritmer appliceras vid behov. Risken finns även att sensorprestanda är för låg oavsett placering, underhåll och korrigering. Då är mätdata inte av tillräckligt hög kvalitet för att användas för validering av beräknade halter även om mätningarna är korrekt utförda. Eftersom prestandan för SDS011-sensorn har visat sig betydligt högre för den mindre partikelfraktion, PM_{2.5}, finns sannolikt större möjligheter för validering av modellerade halter av PM_{2.5}. Det utvärderades dock inte här eftersom beräknade halter av PM_{2.5} för närvarande inte finns att tillgå.

6 Referenser

- Borrego, C., et al. (2018). "Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir Joint Exercise–Part II." *Atmospheric environment* 193: 127–142.
- European Commission (2020). [A European strategy for data](#). COM (2020) 66 final, Brussels, 19.2.2020.
- European union (2008). "Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe." *Official Journal of the European Union*.
- Gulia, S., et al. (2015). "Urban air quality management-A review." *Atmospheric Pollution Research* 6(2): 286–304.
- Karagulian, F., et al. (2019). "Review of the Performance of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring." *Atmosphere* 10(9): 506.
- Kizel, F., et al. (2018). "Node-to-node field calibration of wireless distributed air pollution sensor network." *Environmental pollution* 233: 900–909.
- Leelőssy, Á., et al. (2014). "Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review." *Central European Journal of Geosciences* 6(3): 257–278.
- Liu, H.-Y., et al. (2019). "Performance assessment of a low-cost PM_{2.5} sensor for a near four-month period in Oslo, Norway." *Atmosphere* 10(2):41.
- Naturvårdsverket (2019). *Luftguiden, Handbok om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft Handbok 2019*.
- Rai, A. C., et al. (2017). "End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring." *Science of the total environment* 607: 691–705.
- Tagle, M., et al. (2020). "Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile." *Environmental Monitoring and Assessment* 192(3): 171.
- Tominaga, Y. and T. Stathopoulos (2013). "CFD simulation of near-field pollutant dispersion in the urban environment: A review of current modeling techniques." *Atmospheric environment* 79:716–730.



Miljöförvaltningen

Box 7012, 402 31 Göteborg

Telefon, växel: 031-365 00 00

E-post: miljoforvaltningen@miljo.goteborg.se