



Mikrosensorer för luftmätningar

En kunskapsöversikt framtagen på uppdrag av
Naturvårdsverket

Carolina Holmberg

2017-08-25

Handledare: Matthew Ross-Jones & Marie Denward

Förord

Denna rapport är framtagen via ett studentuppdrag som pågick i totalt sju veckor under sommaren 2017, där både Miljöinformationsenheten och Luftenheten på Naturvårdsverket var delaktiga i projektformulering och handledning. Underlaget till rapporten utgörs till stor del av telefonintervjuer med personer som är aktiva inom branschen för mikrosensorer till luftmätningar. En lista över de personer som intervjuats återfinns i Bilaga 1.

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	5
1.1.	Bakgrund	5
1.2.	Syfte.....	6
2.	Sverige	7
2.1.	Försök med mikrosensormätningar av luftkvaliteten i Sverige.....	7
2.1.1.	Green IoT	7
2.1.2.	Miljöväder	8
2.1.3.	Luft och Vatten IoT	9
2.1.4.	Trafikverket: E-MOTE sensorer på E18 Danderyd	10
2.1.5.	Trafikverket: Mätprojekt med COWI.....	11
2.1.6.	Sensing City.....	11
2.1.7.	Sensorer i taxiskyltar	12
2.1.8.	Övriga projekt.....	13
2.2.	Forskningsläget.....	13
3.	Europa	14
3.1.	Försök med sensormätningar av luftkvaliteten i Europa	14
3.1.1.	MACPoll	14
3.1.2.	AirSensEUR	15
3.1.3.	Citizen science-projekt i Antwerp.....	16
3.1.4.	Urban AirQ (Making Sense)	17
3.1.5.	Nilu: Utvärdering av 24 identiska mikrosensorenheter	18
3.1.6.	Övriga projekt.....	18
3.2.	Forskningsläget.....	19
4.	Utmaningar och möjligheter med mikrosensorer som komplement i luftövervakningen	20
4.1.	Utmaningar.....	20
4.1.1.	Dolda algoritmer.....	20
4.1.2.	Svårighet att kalibrera	20
4.1.3.	Bristande noggrannhet.....	21
4.1.4.	Äventyrande av trovärdigheten	21
4.2.	Möjligheter	21

4.2.1.	Fler mätpunkter.....	21
4.2.2.	Mätningar på svåråtkomliga platser.....	22
4.2.3.	Realtidsdata.....	22
5.	Användningsområden utanför den officiella luftövervakningen	23
5.1.	Identifiera stora ändringar i luftföroreningsnivåer	23
5.2.	Mätningar som kan ge en indikation av luftkvaliteten.....	23
5.3.	Öka intresset för luftkvalitet	23
5.4.	Övrigt.....	24
6.	Rekommendationer för framtida arbete.....	25
6.1.	Ramverk.....	25
6.2.	Vägledning	25
6.3.	Övervaka EU-forum	26
6.4.	Synliggöra behov	26
6.5.	Skapa samarbetsmöjligheter	26
7.	Avslutande diskussion	28
	Referenser	29

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Övervakning av luftkvalitet har traditionellt skett med stationära mätinstrument som kompletterats med modeller för spridning av luftföroeningar. Mätinstrumenten är dyra, tunga och kräver regelbundet underhåll, men de mäter med hög precision. Sedan ett par år tillbaka finns nu även mikrosensorer tillgängliga på marknaden. Jämfört med ett traditionellt mätinstrument är en mikrosensor billigare, portabel och (till skillnad från vissa traditionella mätinstrument) direktuppkopplad mot internet vilket möjliggör för mätningar i realtid. (Wei Ying Yi, 2015) Mikrosensorerna har flera intressanta tillämpningsområden och det är troligt att de kommer spela en stor roll i framtidens strategier för luftövervakning (RIVM, 2017).

Det finns flera olika typer av mikrosensorer, och nya modeller introduceras kontinuerligt på marknaden. Sensorerna mäter med olika tekniker och de mäter olika typer av luftföroeningar. Några exempel på tekniker som används är resistiva sensorer, elektrokemiska sensorer, joniserande detektorer och optiska partikelmätare. Vilken typ som fungerar bäst beror på vad det är som ska mätas och vilka förutsättningar som gäller på just den platsen. De enskilda sensorerna är enkla och ofta känsliga för störningar såsom skillnader i temperatur, luftfuktighet, tryck och interfererande gaser i luften. Detta medför att mätningar med sensorer kan ha brister vad gäller tillförlitlighet och precision. Därför integreras ofta sensorer i sensorer som innehåller flera sensorer som mäter flera olika parametrar. Den samlade rådatan bearbetas sedan med algoritmer som motverkar dessa störningar innan ett slutgiltigt mätvärde tillgängliggörs. Hela systemet med sensorer integrerade i sensorer och rådata som bearbetas med utvecklade algoritmer kallas ofta för en sensorplattform. (Borowiak A., 2017) Det finns en stor spridning i både pris och kvalitet. En separat sensor finns att köpa för 200 kr medan ett integrerat mikrosensorsystem kan kosta uppemot 80 000 kr (Castell N., 2016). Hur väl det slutliga mätvärdet stämmer överens med verkligheten beror därmed både på kvaliteten av sensorer som mäter samt på hur välanpassade algoritmer som används i rådatabehandlingen.

I luftkvalitetsdirektivet från EU finns reglering kring hur övervakningen av luftkvaliteten ska ske. Där finns bestämmelser angående maximal avvikelse för mätinstrumenten beroende på vilken typ av luftföroening det gäller samt vad syftet med mätningen är. Dessa bestämmelser är genomförda i Sverige i Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet (Naturvårdsverket, 2016). På flera olika håll pågår nu forskningsprojekt dels för att tillverka bättre mikrosensorer som ger mer tillförlitliga resultat, men också för att undersöka nya tillämpningar för luftmätningar där mikrosensorer kan vara användbara.

1.2. Syfte

Syftet med uppdraget som låg till grund för denna rapport var att kartlägga pågående, planerade och avslutade projekt i Sverige och i EU samt att kartlägga forskningsläget för användandet och utvecklingen av mikrosensorer för luftmätningar. Det ingick även i uppdraget att ge rekommendationer för hur Naturvårdsverket kan jobba vidare med mikrosensorer inom detta område i framtiden.

2. Sverige

2.1. Försök med mikrosensormätningar av luftkvaliteten i Sverige

I detta avsnitt presenteras de projekt/försök med mikrosensormätningar av luftkvaliteten i Sverige som har identifierats under kartläggningen.

2.1.1. Green IoT

Syfte

Det övergripande målet är att skapa en trådlös infrastruktur för att samla in miljödata som sedan kan ligga till grund för en hållbar stadsplanering. De avser utveckla en plattform som ska underlätta övervakning av luftföroreningar i Uppsala genom att göra data från mikrosensorer placerade utmed stadens gator tillgängligt för både den offentliga sektorn och för privata aktörer.

Organisation

Projektledare: Uppsala Universitet

Samarbetspartners: Uppsala Universitet, Uppsala kommun, KTH, IBM, Ericsson, SICS, 4Dialog AB, SenseAir AB och Upwis AB.

Projektperiod: 2015-2017. De har ansökt om medel för att fortsätta projektet i ytterligare två år.

Metod

De har dels utvecklat egna mikrosensorer och dels köpt in mikrosensorer från andra tillverkare som de testar och jämför mot varandra och med datan från de instrument som finns på Uppsalas officiella mätstationer. I nuläget (juli 2017) har sensorer som mäter CO och NO₂ placerats på bussar och sensorer som mäter PM 2.5 och PM10 har placerats på lyktstolpar i Uppsalas stadskärna. För kvalitetskontroll har flertalet sensorer placerats på kommunens mätstation (drivs av SLB-analys på uppdrag av Uppsala kommun).

Resultat

I nuläget (juli 2017) är det fortfarande för tidigt för att säga något om resultatet från mätningarna. De första mätningarna avslutas i december 2017, förhoppningsvis finns mer resultat då.

Användning av resultat och informationsförsörjning

Initiativtagarna till Green IoT planerar att tillverka egna applikationer med tjänster baserade på den insamlade mätdata, och också att presentera datan öppet för att ge tredje part möjlighet att utveckla och testa nya tillämpningar.

Erfarenheter/rekommendationer för framtida arbete

Det är en utmaning att göra den insamlade datan meningsfull och att garantera kvaliteten på

mätningarna. Att erbjuda öppen data samtidigt som individers personliga data skyddas är också en utmaning, och ett område som projektledaren tror att det kommer forskas mer på i framtiden.

Källor

GreenIoT projekthemsida, 2017

Ahlgren B., 2016

Ngai E., 2016

Ngai, Edith; Projektledare för Green IoT. 2017. Telefonintervju 3 juli

2.1.2. Miljöväder

Syfte

Syftet med projektet är att mäta och analysera miljöinformation för att sedan presentera det i form av ett "miljöväder", som ger information om luftföroreningar i användarnas närområde i realtid. Användarna kan vara t ex privatpersoner, företag, städer, skolor, myndigheter eller forskare.

Organisation

Projektledare: IVL Svenska Miljöinstitutet

Samarbetspartners: IVL Svenska Miljöinstitutet, Göteborgs Stad, Acreo Swedish ICT, IMCG, Interaktiva institutet, Vinnter.

Projektperiod: september 2015 – juni 2017

Metod

I nuläget (juni 2017) har åtta mikrosensorer satts upp. Dessa mäter NO₂, partiklar, buller, temperatur och luftfuktighet. För kvalitetskontroll jämförs datan med mätresultat från Göteborgs officiella mätstationer.

Resultat

Projektet har utvecklat en demonstrator för Internet of Things (IoT) som kan ge information till användare om luftkvaliteten i deras område. Angående kvaliteten på de mätningar som gjorts med mikrosensorer kan man generellt se att de absolutvärden som mikrosensorerna mäter skiljer sig från de värden som referensstationerna visar, men däremot fångar mikrosensorerna dygnsvariationer bra.

Källor

Vinnova, 2015

Hallgren, Fredrik; Projektledare Miljöväder. 2017. Telefonintervju 26 juni

2.1.3. Luft och Vatten IoT

Syfte

Det långsiktiga målet är en informationsplattform för miljöövervakning av luft och vatten i Göteborgs stad. Mikrosensorer kommer att användas för mätningar av föroreningar i luft och dagvatten i samband med byggnationen av Västlänken. Unikt för detta projekt är att övervakningen av luft och vatten knyts ihop med ett stort infrastrukturprojekt. Därmed kan miljöpåverkan följas i realtid, vilket skapar bättre förutsättningar att sätta in åtgärder i tid.

Organisation

Projektledare: Göteborgs Stad

Samarbetspartners: Göteborgs Stad, IVL Svenska Miljöinstitutet, Rise Acreo, TalkPool, Vinnter, Rise Interactive institute, Hagström Consuling, Insporation, Swedish Hydro Solutions, Ericsson, Uppsala kommun, Centro Mario Molina i Santiago, Rent Dagvatten, Universum, IMCG.

I en referensgrupp finns även Trafikverket, Malmö Stad och Umeå kommun representerade.

Projektperiod: september 2017 – juni 2020

Metod

Analysen kommer att utföras på luftföroreningarna NO₂ och partiklar samt buller både inomhus och utomhus på platser nära byggnationen. Dagvattenanalyser kommer att utföras avseende på grumlighet, tryck och temperatur.

För att hitta/utveckla sensorer som ger tillförlitlig data används en försöksanläggning för fälttester där sensorer från olika leverantörer kan utvärderas. Mikrosensorerna som används kommer att valideras mot referensinstrument och modeller kommer att byggas för feldiagnostik i syfte att öka mätresultatens noggrannhet.

Övriga kommentarer

För att skala upp projektet till andra kommuner och verksamheter behövs stöd i form av politisk förankring och ekonomi.

Källor

Projektfakta LoV IoT - Ansökan

Nguyen, Hung; Projektledare LoV IoT. 2017. Telefonintervju 22 juli

2.1.4. Trafikverket: E-MOTE sensorer på E18 Danderyd

Syfte

Trafikverket har länge jobbat med att identifiera möjliga åtgärder för att minska luftföroreningar. Det långsiktiga målet med satsningen på mikrosensorer är att om möjligt styra trafiken utifrån aktuell luftkvalitet, exempelvis genom att sänka hastigheterna vid höga föroreningshalter eller på annat sätt styra trafikflöden. I ett första steg utvärderas hur bra mikrosensorerna presterar jämfört med referensinstrumenten.

Organisation

Projektledare: Trafikverket region Stockholm

Samarbetsparters: Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Stockholms Luft- och Bulleranalys (SLB-analys), Trafik Stockholm och Facility labs.

Metod

Mikrosensorerna som har testas är av modellen E-MOTE 800. Sensorerna är uppsatta i närhet till SLB-analys mätstationer längs E18 vid Danderyd. De mäter NO, NO₂ och CO. Nyligen har även instrument som mäter partiklar satts upp.

Under tidsperioden 2016-06-30 till 2016-12-20 gjordes mätningar, som sedan jämfördes med data från referensinstrument på SLB:s mätstationer. Efter utvärderingen har mikrosensorerna omkalibrerats och är nu förhoppningsvis bättre anpassade till den miljö de mäter i. En ny mätsäsong ska påbörjas efter sommaren 2017 och projektet planeras pågå i ett år innan mikrosensorernas användbarhet kan utvärderas fullt ut.

Resultat

SLB-analys utvärderade mikrosensorernas prestanda baserat på mätdata från 2016-06-30 till 2016-12-20. Utredningen visade att mikrosensorerna mätte högre halter av NO och NO₂ jämfört med referensinstrumenten. Avvikelsen var 100% eller mer, och efter en linjär regressionskorrelation var avvikelsen ca 50%. Slutsatsen blev att sensorerna inte var lämpliga för att kontrollera kväveoxidhalterna i jämförelse med miljökvalitetsnormerna, och inte heller lämpliga för att ge information till allmänheten av luftkvaliteten.

Mikrosensorerna planeras att bli utvärderade igen under hösten 2017.

Källor

Elmgren, 2017

Gustavsson, Kerstin; Trafikverket. 2017. Telefonintervju 1 augusti

2.1.5. Trafikverket: Mätprojekt med COWI

Syfte

I syfte att uppskatta haltbidraget till luft från citytunneln, och därmed dess eventuella effekter på tunnelmyningarnas näromgivning genomförs mätningar av luften i och vid citytunnelns tunnelmyningar – både innan och efter den trafikerats. Projektet är ett mätprojekt beställt av Trafikverket där även COWI (som ansvarar för mätningarna) kommer att utvärdera mikrosensorernas prestanda.

Organisation

Projektledare: Trafikverket region Stockholm

Samarbetspartners: COWI, Hugo Tillquist

Projektets löptid: juni 2017 – augusti 2017

Metod

Mätningar sker på fyra platser. Ett godkänt mätinstrument (FIDAS) och fyra AQ-Mesh mikrosensorer används. På en av mätplatserna har både ett referensinstrument och en mikrosensor satts upp, och på de tre andra mätplatserna mäts endast med mikrosensorer. En jämförelse kommer göras av resultaten från de olika instrumenten för att utvärdera och validera mikrosensorernas prestanda.

Efter avslutad mätperiod samkörs mikrosensorerna så även noggrannheten mellan de olika mikrosensorerna kan uppskattas.

Resultat

I nuläget (augusti 2017) är mätningarna ännu inte avslutade.

Källor

Haeger-Eugensson, Marie; COWI. 2017. Telefonintervju 11 augusti

2.1.6. Sensing City

Syfte

Studien är i första hand en motstudie till ett Nya Zeeländskt projekt. Där följdes ett antal KOL-patienter och med hjälp av mikrosensorer kopplades patienters behov av mediciner till luftkvaliteten i de områden de vistats. Studien i Gävle är dock i mindre skala, och istället för att placera mikrosensorer på de platser KOL-patienterna ofta besöker (då det är svårt att avgränsa) har mikrosensorerna satts upp i en rät linje genom staden för att kunna jämföra luftkvaliteten mellan olika gator/områden i Gävle. Sensorerna kommer därefter att kalibreras på nytt och placeras ut i nytt

mönster utifrån diskussion mellan forskare och lokala myndigheter, för att kunna testa flera olika placeringar och kombinationer under projektets tid.

Organisation

Projektledare: Future Position X

Samarbetspartners: Future Position X, Gävle Sjukhus, Gävle Högskola, Gävle kommun, Hugo Tillquist och SLB-analys

Metod

Åtta AQMesh mikrosensorer har placerats ut. De sattes upp i juni 2017 och planeras sitta uppe i 7 månader. Innan de placerades på sin nuvarande plats samkördes de intill kommunens mätstation med referensinstrument på Södra Kungsgatan (drivs av SLB-analys på uppdrag av Gävle kommun).

Resultat

Mätningarna avslutas i januari 2018.

Källor

Future Position X projekthemsida

Nylund, Jenny; Projektledare för Sensing City. 2017. Telefonintervju 1 augusti.

2.1.7. Sensorer i taxiskyltar

Syfte

Projektet är ett teknikutvecklingsprojekt där målet är att integrera en sensorplattform i de "Smarta Taxilyktor" som Pointguard tillverkar och levererar till taxibolag. Mikrosensorerna, som ska placeras på biltak mäter luftföroeningar såsom PM 2.5, PM 10 NO₂, SO₂, ozon, buller och vägkvalitet.

Organisation

Projektledare: Pointguard

Samarbetspartner: Upwis

Metod

Separata mikrosensorer köps in från tillverkare (Alphasense) och Upwis bygger infrastrukturen runt om dem. När prototyperna är färdiga är planen att testa de tillsammans med ett taxibolag.

Resultat

Projektet är i designfasen. Enligt planen kan mikrosensorerna integreras i taxiskyltarna i början av 2018.

Källor

Brunberg, Kjell; Upwis. 2017. Telefonintervju 28 juni

Lindgren, Dan; Pointguard. 2017. Mailkontakt 26 juni

2.1.8. Övriga projekt

Det pågår planering av ytterligare projekt på området. Utöver de projekt som beskrivits ovan har följande identifierats under kartläggningen:

IVL Svenska Miljöinstitutet och RISE Acreo har sökt finansiering för ett projekt gällande sensorutveckling. Acreo står för den tekniska delen, och IVL agerar luftexperter.

SMHI planerar att använda billiga sensorer för lufttemperaturmätningar vid Hornsgatan parallellt med de mätinstrument som finns där. De är även delaktiga i en ansökan till H2020 angående IoT.

Malmö stad har också varit intresserade av att testa mikrosensorer och hade ett planerat samarbete med projektet Copenhagen Sense som tillslut inte blev av.

2.2. Forskningsläget

I många av de projekt som beskrivits ovan finns universitet eller forskningsinstitut representerade. Avdelningen för Network Systems Laboratory på KTH och avdelningen för informationsteknologi på Uppsala Universitet medverkar i projektet Green IoT. IVL Svenska miljöinstitutet medverkar i projekten Miljöväder, LoV IoT samt i det planerade teknikutvecklingsprojektet tillsammans med RISE Acreo, där de bidrar med kompetens inom både luftföroreningar och dataanalys. På Stockholms Universitet har ett antal billiga mikrosensorer köpts in och använts till studentarbeten, däremot är de inte delaktiga i något forskningsprojekt angående mikrosensorer för luftmätningar. Några utav de projekt som identifierats bör kunna klassas som miljöforskningsprojekt, men utöver dessa har det inte identifierats någon forskning inriktad på utveckling av mikrosensorer.

3. Europa

3.1. Försök med sensormätningar av luftkvaliteten i Europa

I detta avsnitt presenteras några av de projekt/försök med mikrosensormätningar av luftkvaliteten i Europa som identifierats under kartläggningen.

3.1.1. MACPoll

Syfte

Målet var att förbättra spårbarheten och jämförbarheten av mätresultat från luftövervakning. Projektet bestod utav fyra olika "arbetspaket", varav ett av dem fokuserade på mikrosensorer och hur de kan appliceras till luftövervakningen.

Organisation

MACPoll (Metrology for Chemical Pollutants in Air) var ett treårigt projekt utfört av European Metrology Research Programme (EMRP) som avslutades 2014.

Resultat

Arbetet ledde bland annat till ett framtagande av ett protokoll för kalibrering och utvärdering av mikrosensorernas prestanda i jämförelse mot kraven i luftkvalitetsdirektivet.

Under projektets gång utvärderades också ett urval av mikrosensorer för mätningar av olika luftföroreningar. Resultaten indikerade att mikrosensorerna inte presterade likadant när de testades i fält som när de testades i laboratorium. Därav drogs slutsatsen att mikrosensorerna måste testas utförligt och under flera olika förhållanden innan de exponeras på marknaden.

Övriga erfarenheter

Det fastslås att det behövs mer forskning på området för att mikrosensorerna ska kunna mäta på den nivå luftkvalitetsdirektivet kräver. (JRP MACPoll, 2014)

Med startpunkt i resultatet från MacPoll-projektet utvecklades plattformen AirSensEUR.

Källor

Spinelle L., 2013

JRP MACPoll, 2014

3.1.2. AirSensEUR

AirSensEUR är en "open data/software/hardware multi-sensor platform for air quality monitoring" utvecklad av JRC. Det är en plattform för billiga mikrosensorer (under 1000 euros) som kan mäta luftföroreningar vid låga koncentrationer.

Syfte

Bakgrunden är att flera olika aktörer, främst privata företag eller institut inom datateknologi, utvecklar egna mikrosensorsystem parallellt med varandra. De tekniska lösningar som hittas är sedan ofta sekretessbelagda, vilket innebär att det går åt mycket resurser till att göra om samma forskning som någon annan redan genomfört. Det är också svårt för en ensam utvecklare att ta sig an alla de utmaningar som finns angående hur mikrosensorer bör användas och hur noggrannheten kan fastställas.

Med AirSensEUR vill man nu skapa ett validerat mikrosensorsystem för mätning av luftföroreningar som kan generera data som möter EU-direktiven 'Air Quality Directive' och 'INSPIRE Directive' (Gerboles M. S. L., 2016). Målet är att implementera en systemlösning som kan mäta med olika typer av sensorer, t ex. för O₃, NO, NO₂, CO, SO₂, från olika tillverkare. För metadata ingår även sensorer som mäter temperatur, tryck och fuktighet i systemet.

Metod

Det som framförallt skiljer AirSensEUR från andra projekt är att de algoritmer etc. som utvecklas för databehandling av mikrosensordata inom systemet kommer att vara transparenta och tillgängliga med hjälp av publika licenser. Att plattformen är realiserad under publika licenser innebär att alla tekniska referenser kan laddas ner och användas både av en som vill använda plattformen och av någon som vill efterbilda den, med motkravet att de förändringar som görs sedan publiceras under samma licens. Plattformen ska också fungera som ett vetenskapligt forum för användare och utvecklare.

Resultat

Plattformen har testats av flera institut för luftkvalitetsövervakning. I nuläget (augusti 2017) har den ca 40 enheter uppkopplade, utspridda över hela Europa. JRC har även tillverkat en app (MyGEOSS) där bland annat datan från AirSensEUR publiceras.

Källor

Gerboles M. S. L., 2017

AirSensEUR, 2015

3.1.3. Citizen science-projekt i Antwerp

I detta projekt användes diffusiva provtagare istället för sensorer. Projektet är dock relevant i sammanhanget eftersom syftet och utmaningarna angående datakvalitet var ungefär desamma.

Syfte

Projektet hade både vetenskapliga och sociala mål. De vetenskapliga målen var att skapa en kvantitativ karta över hur NO₂ varierar på kvarterskala i Antwerp, och att validera datamodeller för uppskattning av NO₂. De sociala målen var att öka allmänhetens intresse för urban luftkvalitet och att demonstrera potentialen för "citizen science".

Organisation

Projektet är en del utav Ringland-projektet (en ombyggnation av motorvägsystemet i Antwerp, planerat av stadens invånare).

Samarbetsparter: Vrije Universiteit Brussel (VUB), Universitet Antwerpen

Metod

Diffusiva provtagare för NO₂ användes för mätningar under fyra veckor i maj 2016. Projektet hade 2000 deltagare (familjer, skolor, företag, sjukhus etc.), och alltså 2000 mätpunkter i staden. För datakvalitetskontroll gjordes dubbla mätningar vid varje mätstation. Jämförelser gjordes också mot referensmetoden för mätning av NO₂ på åtta olika mätstationer.

Resultat

Resultatet visade på systematisk lägre värden på NO₂ jämfört med referensmetoden. Responsen från mätningarna var linjär, men med viss avvikelse avseende absolutvärdena. Efter kalibrering var den *expanderade osäkerheten* 16%.

Resultatet från mätningarna användes till att skapa en karta över NO₂-koncentrationen för stadens olika distrikt. De kom fram till att höga koncentrationer av NO₂ framförallt berodde på trafiken, vägtypen, "sky view factor" och populationsdensiteten.

Erfarenheter

Projektet fick mycket uppmärksamhet i media och hade många aktiva deltagare, vilket kan antas bidra till en ökad medvetenhet kring luftkvalitetsproblematiken. Det lyfts även fram att "citizen science-projekt" kan vara ett bra sätt att samla in data om luftkvalitet, men att man måste utveckla kalibreringen av diffusa provtagare mot referensinstrumenten, och metadatan måste vara tillräckligt

bra. Ett område som behöver undersökas närmare är vilka anledningar som är orsak till att den uppmätta datan inte stämmer med referensdatan.

Källa

Van den Bossche J. 2016

3.1.4. Urban AirQ (Making Sense)

Syfte

Projektet gick ut på att undersöka hur experter kan samarbeta med invånare för att identifiera problem i syfte att förbättra livskvaliteten i en stad. De ville även undersöka vilken datakvalitet som kan erhållas från billiga mikrosensorer.

Organisation

Urban AirQ är ett pilotprojekt inom EU-programmet *making sense*.

Samarbetsparter: GGD Amsterdam, KNMI, Long Fonds, Wageningen University, ECN Netherlands.

Projektets löptid: 2015 – 2017

Metod

Det hölls en rekryteringskampanj i närheten av Amsterdams mest förorenade gator, vilket resulterade i att 25 personer värvades till projektet. Tillsammans med experter på luftkvalitet fick deltagarna diskutera vad och var de ville mäta och varför. 16 stycken mikrosensorer delades mellan deltagarna, som gavs möjlighet att själva mäta luftkvaliteten i sina egna kvarter och innejårdar under sommaren 2016. Sensorerna mätte NO₂, PM, fuktighet och temperatur, och kopplades ihop med deltagarnas WiFi-nätverk.

Resultat

Projektets hemsida har inte uppdaterats sedan sensorerna sattes upp i juni 2016. Därmed har det inte publicerats något resultat sedan mätningarna avslutades i augusti 2016. Det påpekas dock att teknologin fortfarande är ny, och att det inte är lämpligt att dra några stora slutsatser utifrån mätningarna.

Källor

Making Sense projekthemsida

3.1.5. Nilu: Utvärdering av 24 identiska mikrosensorenheter

Nilu är och har varit inblandade i flera projekt som rör mikrosensorer för luftmätningar. Bland annat har de genomfört en studie för att undersöka om kommersiella, billiga mikrosensorplattformar kan bidra till luftkvalitetsövervakningen.

Metod

24 stycken mikrosensornoder av modellen AQMesh testades först i laboratoriemiljö och sedan i fält. När de testades i fält placerades de intill varandra vid ett referensinstrument under perioden april – september 2015.

Resultat

Granskningen av mätvärdena från när mikrosensornoderna testades i fält visade att det fanns en stor individuell variation gällande hur mycket de uppmätta värdena avvek från referensvärdet. Det visade att en sensor som presterar bra i en labbmiljö inte nödvändigtvis gör det i utomhusluft, och att det därför inte räcker att kalibrera sensorerna i labbmiljö utan varje sensornod bör kalibreras individuellt i fält innan de används.

Ett positivt resultat var att några av sensornoderna som testades mötte luftkvalitetsdirektivets kriterier för indikativa mätningar för några av föroreningarna. Detta gällde dock inte för alla föroreningar och inte heller för alla individuella sensornoder som testades. Därför menar de att mikrosensornoderna i sitt nuvarande skick inte är lämpliga för officiell miljöövervakning, men understryker att fältkalibrering baserat på machine learning-tekniker kan minska den expanderade osäkerheten.

Projektets slutsats var att mikrosensorerna är lovande och kan i vissa fall ge indikativ information om graden av luftföroreningar på en plats. De kan med fördel användas till att öka medvetenheten och engagemanget kring luftfrågor genom att uppmuntra till mätningar av luften i närområdet.

Källa

Castell N., 2016

3.1.6. Övriga projekt

De projekt som presenterats ovan är långt ifrån alla projekt på området som genomförts i Europa. Ett tidigt projekt som fått mycket uppmärksamhet och som ofta refereras till är *MESSAGE* som pågick mellan 2006-2009 där fältstudier med sensorer gjordes på olika platser i England. Ett annat projekt är

EveryAware, 2011 – 2014, ett EU-projekt där en plattform för mikrosensormätningar utvecklades och testades på olika platser i Europa.

OpenSense, 2010-2013, är ett annat projekt där de utvecklat en plattform och placerat mikrosensorer på bussar, spårvagnar och bilar i olika städer i Schweiz för att med hjälp av mobila mätningar få en översikt av luftkvaliteten i staden och skapa högupplösta kartor på urban luftkvalitet. Projektet vidareutvecklades i *OpenSense2*, 2014-2017, som fokuserar på att integrera luftkvalitetsmätningar från mobila mikrosensorer för att bättre förstå vilka hälsoeffekter som exponering för luftföroreningar innebär samt att utvärdera potentialen för crowdsourcing.

Citi-Sense, 2012-2016, är ett annat projekt EU-projekt där man ville involvera invånare i övervakningen av miljön samtidigt som man drog nytta av den nya och tillgängliga tekniken som mikrosensorerna innebär. Inom projektet testades flera olika sensorer och sensorplattformar i åtta städer runt om i Europa.

Källor

Message projekthemsida

CORDIS, 2017

nano-tera projekthemsida

OpenSense projekthemsida

Citi-Sense projekthemsida

3.2. Forskningsläget

Det pågår forskning på många olika håll i Europa. Joint Research Centre på Europeiska Kommissionen har identifierat de ledande Europeiska instituten till AirParif, RIVM, 52N, Ineris, IRCELINE, Geonovum, NILU, VITO, KNMI och Ricardo.

Forskningen och projekten har flera olika infallsvinklar. Förutom teknikutvecklingsprojekt och utvärdering av sensorer handlar forskningsprojekten också om hur den uppmätta datan bäst kan användas och göras tillgänglig. Dessutom testar flera projekt koncepten "crowdsourcing"/ "citizen science", vilket innebär att allmänheten bjuds in att utveckla ny teknologi eller att de bistår forskare och officiella aktörer med datavärden från egna mätningar i lokalområdet.

4. Utmaningar och möjligheter med mikrosensorer som komplement i luftövervakningen

Många av de personer som intervjuats i samband med uppdraget som ligger till grund för denna rapport har understrykt att mikrosensorernas syfte inte är att ersätta de konventionella mätinstrument som idag används för luftövervakning. Förhoppningen är att de kan bli ett bra komplement till de mätstationer och modeller som redan finns. I detta avsnitt identifieras några av de utmaningar och möjligheter som finns gällande användning av mikrosensorer för övervakning av luftkvalitet i jämförelse med miljökvalitetsnormerna. De tillämpningsmöjligheter som finns för andra syften än officiell luftövervakning för jämförelse mot miljökvalitetsnormer diskuteras i nästa kapitel.

4.1. Utmaningar

4.1.1. Dolda algoritmer

Gemensamt för mikrosensorerna är att de är känsliga för störningar i form av t ex. skillnader i temperatur, fuktighet eller interfererande gaser. Därför går det inte att köpa endast en sensor för mätning av t ex. kvävedioxid, utan flera sensorer behöver integreras i en sensornod. Sensornoden blir då ett instrument som mäter flera olika parametrar. För att kompensera för de enskilda sensorernas känslighet finns plattformar dit rådatan skickas för att bearbetas med hjälp av algoritmer innan ett slutgiltigt mätvärde levereras. Ett exempel på en sådan algoritm kan vara en kompensation för hur en avvikelse hos en sensor som mäter kväveoxid varierar med koncentration av ozon i luften. Till stor del är det alltså algoritmerna som skapar produkten. Därför utgör de ofta företagshemligheter och sensorlösningen blir därmed en "svart låda". Det innebär att det är svårt för en användare att kontrollera exakt vad det är som mäts och hur data har bearbetats. Det blir svårt att förstå hur mikrosensormätningarna fungerar och därmed också svårt att validera mätningarna.

4.1.2. Svårighet att kalibrera

Det finns två vanliga sätt att kalibrera instrument som används för luftmätningar. Det ena är att kalibrera instrumenten på laboratorium genom att exponera de för en gas med kända koncentrationer av de ingående ämnena. När mikrosensorerna testas i en kontrollerad labbmiljö efter en sådan kalibrering presterar de ofta väldigt bra.

Det andra sättet att kalibrera mikrosensorerna på är att placera de bredvid ett referensinstrument som man vet mäter med hög noggrannhet. Studier visar att sensorer som endast kalibrerats i labbmiljö och presterat bra där inte nödvändigtvis mäter rimliga värden när de testas i fält. Det gäller även att en mikrosensornod som kalibrerats på plats inte nödvändigtvis presterar likadant på en annan plats där omgivningen inte är precis densamma. Därför är det viktigt att de testas i många

olika miljöer innan de används. Studier har även visat att sensorers prestanda kan ändras över tid. Det är därför viktigt att varje enskild sensor kalibreras mot referensinstrument med jämna mellanrum.

4.1.3. Bristande noggrannhet

De mikrosensorer som finns på marknaden idag möter inte de datakvalitetskrav som finns vad gäller mätosäkerhet i luftkvalitetsdirektivet. Enligt regelverket är de alltså inte lämpliga att användas i syfte att övervaka luftkvaliteten och jämföra mätvärdena med miljökvalitetsnormerna. De kan användas i andra sammanhang där det inte är lika viktigt med precisa mätvärden, vilket diskuteras i nästa kapitel, men det är viktigt att vara uppmärksam på att osäkerheterna i de uppmätta värdena kan vara stora. Med en stor kvantitet data av bristande kvalitet finns risk för ett dataöverflöd som är svårt att dra nytta av. Det finns även en risk för att beslutsfattare tar beslut baserat på felaktig data.

Det är också svårt att få information om hur bra en mikrosensor verkligen fungerar. Det certifieringssystem som finns för mätinstrument för luftövervakning idag är inte anpassat till mikrosensorer. Kostnaden för certifiering är för stor i förhållande till enhetens försäljningspris, och certifieringsprocessen är för långsam i förhållande till teknikutvecklingens hastighet. För nuvarande innebär det att den som är intresserad av att använda en mikrosensor till ett mätprojekt själv måste avgöra om kvaliteten på mätningarna är tillräckligt bra för mätningens syfte. Den lägre noggrannheten för sensorerna ger större behov av kontroll än för referensinstrument. Då många sensorer oftast används tillsammans kan totalkostnaden för mätning och kvalitetskontroll i vissa fall till och med vara högre än om referensinstrument används.

4.1.4. Äventyrande av trovärdigheten

Att privatpersoner köper och mäter luftkvalitet med egna sensorer är inte ett utbrett fenomen som i Sverige, men det är ett troligt scenario för framtiden. Ett mikrosensornätverk som genererar data som inte stämmer överens med de officiella mätningarna kan leda till att officiella aktörers trovärdighet äventyras. Beroende på om mätningarna visar på lägre eller högre halter av luftföroreningar kan i värsta fall misstakar om att officiella aktörer antingen överdriver eller döljer problem uppstå. Att möta samhället med fakta och förståelse angående skillnader i mätsäkerhet för mikrosensorer vs mätinstrument kan bli en utmaning.

4.2. Möjligheter

4.2.1. Fler mätpunkter

Mikrosensorer möjliggör för fler mätpunkter. Det innebär dels högre geografisk upplösning och också möjlighet att övervaka luften i större områden. Förutsatt att datan går att lita på innebär det bland

annat bättre möjligheter att hitta oväntade spridningskällor samt en ökad förståelse för dynamiken hos partiklar och gaser i luften. Det ger också möjlighet att validera och förbättra de modeller som används idag för att förutse hur luftföroreningar sprider sig i en stad.

4.2.2. Mätningar på svåråtkomliga platser

Till skillnad mot de traditionella mätinstrumenten som i många fall kräver både en strömkälla och skydd från väder, ofta i form utav stora skåp kan mikrosensorer installeras i princip var som helst. Dessutom kan mikrosensorerna möjliggöra mätningar av luftkvaliteten i länder där det av ekonomiska skäl inte skett någon luftövervakning tidigare. Att de är så pass lätta att hantera rent fysiskt möjliggör också för mobila mätningar då sensornoderna kan placeras på exempelvis en buss eller bäras av en människa.

4.2.3. Realtidsdata

Huvuddelen av de referensinstrument som används i den officiella luftövervakningen i Sverige är automatiska mätinstrument som ger s.k. realtidsdata. Det finns dock fortfarande många kommuner i Sverige som istället använder manuella mätinstrument som inte kan leverera data i realtid men som oftast är billigare än automatiska mätinstrument. Att sensorer kan leverera realtidsdata gör att de därför kan vara intressanta som ett komplement till kommunernas befintliga luftövervakning. Med mätdata som går att avläsa i realtid blir det exempelvis lättare att uppmärksamma koncentrationstoppar av hälsofarliga gaser och partiklar. Realtidsdata kan också vara av stort värde för invånare som vill planera sina utomhusaktiviteter utefter den rådande luftkvaliteten. En nackdel med realtidsdata är dock att den inte kan kontrolleras innan den levereras. Om det uppkommer störningar på mätaren som gör att de visar felaktiga halter så har de redan presenterats för användaren innan felet upptäcks.

5. Användningsområden utanför den officiella luftövervakningen

Det finns många tänkbara användningsområden för mikrosensorer. Mätningar av luftföroreningar är intressant ur fler perspektiv än den officiella miljöövervakningen för jämförelse mot miljökvalitetsnormer. I detta avsnitt diskuteras några av de sammanhang där mikrosensorer kan vara användbara utanför miljöövervakningsområdet. För de användningsområden som beskrivs här bör mätsäkerheten i många fall vara tillräckligt bra i nuläget eller inom en snar framtid.

5.1. Identifiera stora ändringar i luftföroreningsnivåer

Trots att mikrosensorer inte alltid mäter det korrekta absolutvärdet kan de vara användbara för att registrera stora förändringar i luftföroreningsnivåer. Det kan vara användbart i flera sammanhang. Några exempel är att registrera oväntade utsläpp från industrier eller från en tillfällig verksamhet såsom ett byggprojekt. De skulle också kunna användas för att utvärdera om en förbättringsåtgärd har fungerat eller inte genom att undersöka om mätvärdena ökar eller minskar enligt förväntat. På grund av bristande noggrannhet är sensorer dock mest relevanta att använda i de fall där stora förändringar förväntas. I de fall där relativt små effekter förväntas, krävs mer noggranna metoder för att kunna utvärdera åtgärder.

5.2. Mätningar som kan ge en indikation av luftkvaliteten

Det finns flera exempel på tillfällen då det är tillräckligt att få en indikation av statusen på luftkvaliteten i ett område. Ett exempel på när det skulle kunna vara användbart är när man vill identifiera det mest förorenade området i en stad. Sådan information kan användas till att ge en indikation om var man ska mäta vidare med godkända mätinstrument, och det kan också vara användbart vid stadsplanering.

Mikrosensorer kan även vara användbara vid tillfällen då det finns olika intressen som konkurrerar om samma yta, exempelvis ett byggprojekt och ett dagis. Med förhållandevis billiga sensorer kan de sättas upp i förebyggande syfte och om nödvändigt indikera när ytterligare mätningar behövs för att säkerställa att luftkvaliteten inte utgör någon skada hälsan.

5.3. Öka intresset för luftkvalitet

Mikrosensorerna kan bidra till att öka allmänhetens intresse för luftföroreningar, eftersom de själva kan vara med och genomföra mätningar och egna undersökningar. Detta är också resultatet från flera av de projekt som genomförts i Europa. En ökad kunskap om hur luftföroreningar skapas och sprids i städer kan i bästa fall leda till beteendeförändringar både på samhälls- och individnivå vilket i sin tur resulterar i renare luft.

5.4. Övrigt

Förutom de gaser och partiklar som övervakas för jämförelse mot miljö kvalitetsnormer kan sensorer användas till mätningar av gaser som är intressanta ur andra perspektiv. Tekniken kan exempelvis användas till att mäta växthusgaser eller utsläpp från en bils avgasrör. Ett annat område som är intressant är möjligheten att bära med sig sin egen sensor och därigenom få information om den personliga exponeringen för hälsofarliga luftföroreningar.

6. Rekommendationer för framtida arbete

Under kartläggningen har ett antal personer som på något sätt är aktiva inom mikrosensorbranschen intervjuats. Under dessa samtal har det kommit upp förslag och önskemål på vilket typ av stöd som Naturvårdsverket skulle kunna bidra med, vilket ligger till grund för innehållet i detta kapitel.

6.1. Ramverk

Idag saknas ett ramverk som reglerar i vilka sammanhang det går bra att använda den data som en mikrosensor genererar. Det är fortfarande tidigt i teknikutvecklingsprocessen och det saknas rutiner för kvalitetssäkring och certifiering. Ett klassificeringssystem skulle underlätta för intressenter som då lättare kan bilda en uppfattning av vilken kvalitet de kan förvänta sig. Det skulle också underlätta för tillverkare med tydliga rekommendationer kring vilken typ av noggrannhet som krävs för vilket syfte. Mikrosensorerna behöver kanske inte ge lika precisa värden som referensinstrumenten, utan för vissa tillämpningar kan det räcka med att de ger resultat som är "tillräckligt bra". Någon måste dock specificera vad som är tillräckligt bra och i vilket sammanhang.

En metod för hur en utvärdering av en mikrosensor kan gå till avseende exempelvis vilka väderförhållanden de behöver testas i och under hur lång tid de ska testas skulle kunna vara till hjälp när olika mikrosensornoder med plattformar testas och jämförs med varandra. Då kan tillverkare ange att de har utvärderat sina mikrosensorer enligt den specifika metoden och redogöra för korrelationen med referensdatan. Om mikrosensorer testas enligt en uttalad metod skulle de därefter kunna placeras i olika kvalitetsklasser beroende på hur de presterar.

6.2. Vägledning

Då många menar att mikrosensorernas syfte inte är att ersätta de mätinstrument som idag används för luftövervakning, utan att de istället ska fungera som ett komplement till dessa, råder det en viss förvirring kring huruvida de krav som luftkvalitetsdirektivet ställer på mätinstrument gäller även för mikrosensorer.

Inom EU finns flera projekt där man utvärderar hur mikrosensorerna presterar i förhållande till referensinstrumenten, och det är troligt att det i framtiden kommer direktiv som täcker in detta. Innan dess kan det dock behövas en enklare vägledning. Strategin för en sådan vägledning bör vara att ge så mycket information som möjligt via de officiella kanalerna snarare än att bidra med stötning till individuella projekt. Den nya upplagan av luftguiden kan med fördel uppdateras med ett kapitel angående mikrosensorer, och det har även kommit önskemål om en uppdatering på Naturvårdsverkets hemsida avseende mikrosensorer och noggrannhetskrav.

Dels behövs ett förtydligande mot kommuner med rekommendationer angående i vilka sammanhang mikrosensorer kan vara användbara, och också i vilka sammanhang de inte bör användas. Ett exempel på en fråga som kommit upp är huruvida det är okej eller inte att prestentera data från ett mikrosensornätverk på kommunens egen hemsida.

Även de som startar upp projekt som syftar till att utveckla eller utvärdera mikrosensorer kan behöva guidning kring vad som är bra att tänka på innan man sätter igång för att resultaten ska bli så givande som möjligt. På flera olika håll har det tagits fram rekommendationer för hur en utvärdering av en mikrosensor bör gå till. Som en del av Citi-Sense projektet togs det fram ett förslag på hur mikrosensorer kan utvärderas (Fishbain B., 2016), och även SLB-analys på Stockholms miljöförvaltning har tagit fram ett förslag för detta. Ett protokoll för testning och prestandakrav för sensorer håller också på att utvecklas inom EU:s standardiseringskommitté för luftkvalitet.

6.3. Övervaka EU-forum

För att kunna ge rekommendationer om i vilka sammanhang mikrosensorer går bra att använda behövs en god insikt i hur tekniken fungerar och vilka förutsättningar och brister den har. Det kan fås genom att fortsätta följa upp resultaten från de forskningsprojekt som pågår i Europa och resten av världen. Kommuner och andra intressenter kan ta del av hur utvecklingen går i samband med utskicken av Naturvårdsverkets nyhetsbrev "Nytt om luftkontroll".

6.4. Synliggöra behov

Tillverkningsföretagen som utvecklar mikrosensorerna med plattformar vill veta vilka möjliga marknader som finns. De undrar vilka slags instrument som är av intresse men som kanske inte finns idag. Det kan exempelvis handla om ämnen som är intressanta att övervaka, både i luften men också i vatten. Det är inte fel att vara tydlig och detaljerad angående vilka mätbehov som finns och vilken noggrannhet som mikrosensormätningarna behöver uppfylla.

6.5. Skapa samarbetsmöjligheter

Ett svenskt forum där mikrosensorer för luftmätningar kan diskuteras saknas idag. Flera har vittnat om att de önskar bättre möjligheter till samarbete. Kommuner som är intresserade av att titta närmare på mikrosensorernas tillämpningsmöjligheter men inte har kapacitet att leda ett eget utvärderingsprojekt skulle kunna kopplas ihop med ett tillverkningsföretag som vill testa sina sensorer och behöver referensdata att jämföra med. Dessutom vore det bra att samla kompetens från alla de kunskapsområden som mikrosensorerna tangerar på en och samma plats.

Naturvårdsverket kan då också dela med sig av den egna kompetensen på flera olika områden, bland annat angående luftkvalitet och miljöinformation. Förutom att underlätta samarbetet mellan

kommuner och entreprenörer skulle ett sådant forum också ge Naturvårdsverket bättre möjligheter att övervaka resultat från intressanta projekt.

7. Avslutande diskussion

Det är tydligt att tekniken ännu inte är mogen. Bland annat saknas en vedertagen terminologi, begreppet "mikrosensor" är brett och inte helt lätt att definiera. Många av de projekt som genomförts är av experimentell karaktär och det är ofta svårt att urskilja ett tydligt syfte då det finns många intressenter inblandade och också många aspekter att utveckla eller utvärdera. Trots detta är det troligt att marknaden för mikrosensorer kommer att bli större. Teknikutvecklingen går fort och mikrosensorerna blir hela tiden bättre. Dessutom kopplar mikrosensorer för luftmätningar till flera olika områden och fenomen som ligger i tiden. I hela EU finns en trend mot "Smart Cities", dvs. att göra städerna mer smarta och effektiva. I ett sådant samhälle är IoT ett centralt begrepp och kan användas i flera sammanhang för att samla in och analysera data som sedan används för att förbättra infrastruktur eller göra annan samhällsnytta. Mikrosensorer som kan generera information om luftkvaliteten i realtid bör ha en naturlig del i ett sådant samhälle. Liknande sensorer kan även användas i vatten för att bedöma kvaliteten. Det är också ett växande område med liknande utmaningar. I denna rapport har sensorer för vattenmätningar inte berörts, men det är också ett område där det pågår forskning.

Ett annat fenomen som några av projekten berör är den möjliga nyttan med "Citizen Science", i detta fall genom att allmänhet hjälper till att samla in underlag om luftkvaliteten i det lokala området som sedan kan ligga till grund för beslutsfattare eller andra intressenter. Naturvårdsverket jobbar redan med detta i andra sammanhang, t ex. via Artportalen där allmänhetens observationer kompletterar miljöövervakningen. Liknande initiativ bör vara möjliga även på detta område i framtiden, men då krävs någon typ av kvalitetssäkring för de sensorer som ska ingå i ett sådant nätverk.

Referenser

- Ahlgren B., H. M. (2016). Internet of Things for Smart Cities: Interoperability and Open Data. *Internet Computing*.
- AirSenseEUR*. (2015). Hämtat från Air Quality Monitoring Open Framework: <http://www.airsenseur.org/website/airsenseur-air-quality-monitoring-open-framework/> den 09 08 2017
- Borowiak A., G. M. (2017). On the performance of sensors to measure air quality (Update on AQUILA). Joint Reserch Centre.
- Castell N., D. F. (2016). *Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?* 02: 09.
- Citi-Sense projekthemsida. (u.d.). *Citi-Sense*. Hämtat från The project: <http://social.citi-sense.eu/TheProject.aspx> den 24 08 2017
- CORDIS. (den 22 04 2017). *CORDIS*. Hämtat från EveryAware: http://cordis.europa.eu/project/rcn/98164_en.html den 2017 08 24
- Elmgren, M. (2017). *Evaluering av NO och NO2 från E-MOTE sensorer vid E18*. Stockholm: SLB-analys.
- Fishbain B., L. U. (2016). *An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units*.
- Future Position X projekthemsida. (u.d.). *Future Position X*. Hämtat från Sensing City: <http://fpx.se/projects/sensing-city/> den 23 08 2017
- Gerboles M., S. L. (2016). *AirSenseEUR: an open data/software /hardware multi-sensor platform for air quality monitoring. Part B: Host, influx datapush and assembling of AirSenseEUR*.
- Gerboles M., S. L. (den 13 02 2017). Hämtat från The use of the AirSenseEUR platform: <https://www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl/sites/default/files/2017-02/Gerboles%20-%20JRC%20%20AirSenseEUR.pdf> den 09 08 2017
- GreenIoT projekthemsida. (2017). Hämtat från GreenIoT Smart City Uppsala: <http://user.it.uu.se/~eding810/GreenIoT/> den 15 06 2017
- JRP MACPoll. (12 2014). *Final Publishable JRP Report/ MACPoll Final Report*. Hämtat från http://www.macpoll.eu/sites/default/files/media/ENV01_JRP.pdf den 23 08 2017
- Making sense projekthemsida. (u.d.). *Making Sense*. Hämtat från <http://making-sense.eu/urban-airq-citizens-measuring-air-quality-themselves/u> den 25 08 2017
- Message projekthemsida. (u.d.). *Message*. Hämtat från Mobile Environmental Sensing System Across Grid Environments: <http://research.cs.ncl.ac.uk/message/> den 24 08 2017

- nano-tera. (u.d.). *nano-tera.ch*. Hämtat från OpenSense: <http://www.nano-tera.ch/projects/401.php#desc> den 24 08 2017
- Naturvårdsverket. (2016). Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet (NFS 2016:9).
- Ngai, E. (den 11 05 2016). Forskarpodden, Avsnit 15: Edith Ngai. (J. Löfvenberg, & N. Noren, Intervjuare)
- OpenSense projekthemsida. (u.d.). *OpenSense*. Hämtat från OpenSense 2: http://opensense.epfl.ch/wiki/index.php/OpenSense_2 den 24 08 2017
- RIVM. (2017). Hämtat från Minutes of international meeting on air quality sensors 13-2-2017: [minutes-intl-meeting-air-quality-sensors-13-2-2017](https://www.rivm.nl/minutes-intl-meeting-air-quality-sensors-13-2-2017) den 15 06 2017
- RIVM. (den 13 02 2017). *Samen meten aan luchtkwaliteit*. Hämtat från Minutes of international meeting on air quality sensors 13-2-2017 : <https://www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl/minutes-intl-meeting-air-quality-sensors-13-2-2017> den 10 08 2017
- Signorini, M. (den 16 08 2017). Involverad i AirSensEUR.
- Spinelle L., A. M. (2013). *Protocol of evaluation and calibration of low-cost gas sensors for the monitoring of air pollution*. Joint Research Centre.
- Van den Bossche J., M. F. (u.d.). Hämtat från The Curieuzeneuzen citizen science project: large-scale air quality mapping of NO2 concentrations in Antwerp, Belgium: http://www.curieuzeneuzen.eu/wp-content/uploads/2016/12/MAA2016_JorisVandenBossche_Curieuzeneuzen.pdf
- Wei Ying Yi, K. M. (den 12 12 2015). *A Survey of Wireless Sensor Network Based Air Pollution Monitoring Systems*.
- Vinnova. (2015). Hämtat från Miljöväder - Information om luftföroreningar i ditt närområde: <https://www.vinnova.se/p/miljovader---information-om-luftfororeningar-i-ditt-naromrade/> den 19 06 2017
- Vinnova. (2016). Hämtat från GreenIoT: En Energieffektiv IoT-plattform för Öppen Data och Hållbar Utveckling: <http://www2.vinnova.se/sv/Resultat/Projekt/Effekta/2011-01544/GreenIoT-En-Energieffektiv-IoT-plattform-for-Offen-Data-och-Hallbar-Utveckling/> den 15 06 2017

Bilaga 1

Intervjuade personer, i alfabetisk ordning sorterat på efternamn

Gert Andersson, Acreo

Kjell Brunberg, Upwis

Max Elmgren, SLB-analys

Kerstin Gustavsson, Trafikverket

Fredrik Hallgren, IVL

Sofi Holmin-Fridell, SMHI

Alexander Håkansson, Referenslaboratoriet

Marie Haeger-Eugensson, COWI

Christer Johansson, SLB-analys

Hans Martin, SenseAir

Ralf Mårtensson, BOSCH

Edith Ngai, Green IoT

Hung Nguyen, Göteborgs stad

Jenny Nylund, FpX

Karin Persson, IVL

Mikael Ramström, Tillquist

Mården Spanne, Malmö Stad

Paul Zieger, Aces

Mailkontakt

Jorge Amorim, SMHI

Dan Lindgren, Pointguard