

Koncentrationsprofil på tværs af H.C. Andersens Boulevard, København

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 18. maj 2020 | 39



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Titel: Koncentrationsprofil på tværs af H.C. Andersens Boulevard, København

Forfattere: Ole Hertel, Maria Bech Poulsen og Paula Anna Kindler
Institution: Institut for Miljøvidenskab

Faglig kommentering: Thomas Ellermann
Kvalitetssikring, DCE: Vibeke Vestergaard Nielsen

Rekvirent: Mathias Vestergaard Nielsen, Københavns Kommune

Bedes citeret: Hertel, O., Poulsen, M.B. & Kindler, P.A. 2020. Koncentrationsprofil på tværs af H.C. Andersens Boulevard, København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 14 s. -- Fagligt notat nr. 2020|39
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_39.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Paula Anna Kindler

Sideantal: 14

Indhold

1	Forord	4
2	Baggrund	5
2.1	Formål med undersøgelsen	5
3	Metode og projektdesign	6
3.1	Målemetoder	6
3.2	Eksperimentelt design	8
4	Resultater	10
5	Konklusion	13
6	Referencer	14

1 Forord

Dette notat beskriver resultaterne af et lille forskningsprojekt udført på H.C. Andersens Boulevard i København i efteråret 2019. Projektet indgik som studieprojekt for en af notatets forfattere Paula Anna Kindler. Projektet er endvidere udført i tilknytning til ph.d. projekt for en anden af notatets forfattere Maria Bech Poulsen. Dette ph.d. projekt udføres inden for det Novo Nordisk støttede Big Data Center BERTHA (Big data center for EnviRonmenT and HeAlth). Notatet er en rapportering af projektet til Københavns Kommune, der har ydet økonomisk støtte til projektet gennem finansiering af indkøb og analyse af passive opsamlere til målinger af kvælstofdioxid. Aftalen med Københavns Kommune var, at DCE til gengæld for den økonomiske støtte ville udarbejde et kort notat, som opsummerede projektets hovedresultater, hvilket er baggrunden for det foreliggende notat.

2 Baggrund

Gennem de seneste årtier er luftkvaliteten i Danmark gradvist forbedret i de danske byer (Ellermann et al., 2020). Forbedringerne er resultatet af den teknologiske udvikling, af en stigende miljøbevidsthed i befolkningen og hos beslutningstagere, og ikke mindst er det et resultat af reguleringer på såvel nationalt som europæisk plan (Hertel et al., 2015). Forbedring af luftkvaliteten gør sig ikke kun gældende i Danmark, men ses faktisk ud over størstedelen af Europa. Alligevel er det fortsat sådan, at EU's grænseværdier for kvælstofdioxid er overskredet i mange europæiske storbyer. Disse overskridelser har flere steder ført til iværksættelse af diverse tiltag til regulering af primært vejtrafikken i byerne.

2.1 Formål med undersøgelsen

Denne undersøgelse skal bidrage til en bedre forståelse af gradienten i luftforureningsniveauer på tværs af gaderummet i en stærkt trafikeret gade i København. Samtidig skal undersøgelsen medvirke til at teste anvendeligheden af instrumenter baseret på low-cost sensorer til studier af luftkvalitet i bygader. For at blive klogere på det sidste anvendes to forskellige måleteknikker til en bestemmelse af koncentrationsprofilen på tværs af H.C. Andersens Boulevard i København.

3 Metode og projektdesign

Det konkrete projekt blev gennemført på H.C. Andersens Boulevard tæt ved målestationen i det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet under NOVANA (Ellermann et al., 2020). Målestationen på H.C. Andersens Boulevard står på den nordlige side af vejen modsat forlystelsesparken Tivoli og ca. 70 meter i østlig retning fra Københavns Rådhus. H.C. Andersens Boulevard er en af de mest trafikerede gader i det centrale København med ca. 55.000 køretøjer i døgnet og har en stor andel af tungtrafik i form af lastvogne og busser. Ved målestationen på den nordlige side af vejen er der 2-etagers bygninger, mens vejen er åben på den modsatte side, når man ser bort fra hegnet ind til Tivoli. På begge sider af vejen er der anlagt parkeringspladser, og vejen er meget bred på det undersøgte stykke af H.C. Andersens Boulevard (ca. 54 m fra bygningsfacaden på den nordlige side til hegnet ind mod Tivoli på den sydlige side).

3.1 Målemetoder

I projektet er der gjort brug af to forskellige målemetoder: En serie low-cost sensorbaserede instrumenter (af typen ALMOX) samt passive opsamlere. Fokus i studiet er på kvælstofdioxid.

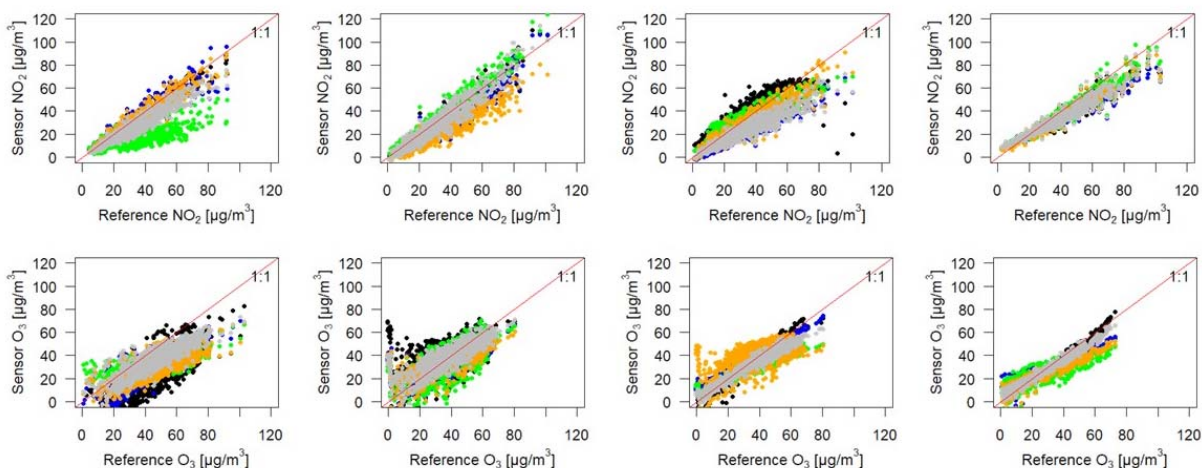
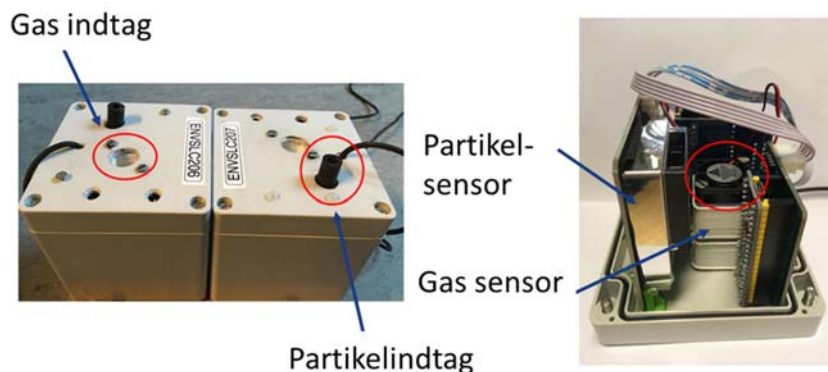
ALMOX er low-cost sensorbaserede instrumenter fremstillet af Airlabs i København (se Figur 3.1). Instrumenterne baserer sig på MOx (metaloxid)-sensorer, som i dag er en meget anvendt low-cost sensorteknologi. DCE købte 20 ALMOX-instrumenter i foråret 2019. Instrumenterne omfatter sensorer til målinger af kvælstofdioxid, ozon, kulmonooxid og partikler. Instrumenterne er egentlig indkøbt med henblik på anvendelse til personlige eksponeringsmålinger, men vil også blive anvendt i en række andre studier ala det foreliggende.

Et valideringsstudie af ALMOX-sensorerne foregik i løbet af sommeren og efteråret 2019 (perioden juni til november) på to af målestationerne tilhørende det danske overvågningsprogram. Her blev hver sensor først trænet i tre uger ved at kalibrere sensorens output med rutinemæssige målinger fra målestationens referenceudstyr. Herefter fulgte en testperiode på tre uger, hvor kalibreringsmodellen blev valideret. Proceduren blev i første omgang gennemført med referencedata, som ikke var endeligt kvalitetskontrolleret, men da kvalitetskontrollerede data var til rådighed, blev kalibreringen og sammenligning gentaget. Ud af 20 sensorenheder viste 18 sensorer en korrelation (r^2) med referenceudstyret på $> 0,9$ for NO_2 , mens 13 sensorer viste en korrelation på $> 0,7$ for O_3 (når analysen er foretaget med kvalitetskontrollerede data). Figur 3.2 viser korrelationsplot for både NO_2 (øverste fire plots) og O_3 (nederste fire plots). Hvert plot repræsenterer en gruppe af fem sensorer kalibreret på samme tidspunkt på samme målestation. De forskellige farver i hvert plot indikerer således de fem forskellige sensorer i den pågældende gruppe. Den røde linje i alle plots illustrerer 1:1 sammenhængen mellem referenceudstyret og sensorerne.

Instrumenterne kan levere data med meget høj tidsopløsning, men erfaringer viser, at aggregering til halv- eller hel-times værdier giver de bedste resultater. ALMOX kræver strømforsyning, hvilket er en udfordring, når man ønsker at måle tværs over en trafikeret vej. I det konkrete tilfælde blev dette løst ved indkøb af en række kraftige power banks (batterier man bl.a. anvender til opladning af mobiltelefoner). Disse meget kraftige power banks leverede strøm

til to døgn drift af ALMOX-instrumenterne. Hver ALMOX-instrument var desuden tilkoblet en telefon for WIFI forbindelse, idet data transmitteres til en intern database hvert 15. minut.

Figur 3.1. Foto af ALMOX-instrument til måling af kvælstofdioxid og ozon. Der er tale om en kube med sidelængde på ca. 10 cm.



Figur 3.2. Korrelationsplot for NO₂ (øverste fire plots) og O₃ (nederste fire plots) for timemiddelværdier. Hvert plot repræsenterer en gruppe af fem sensorer kalibreret på samme tidspunkt på samme station. De forskellige farver i hvert plot er således de fem forskellige sensorer. Den røde linje er 1:1 sammenhængen mellem referenceudstyret og sensorerne.

De anvendte passive opsamlere er diffusionsbaserede badges, som er en meget veldokumenteret metode til måling af kvælstofdioxid. Metoden er udviklet af to Japanere tilbage i 1980'erne (Yanagisawa og Nishimura, 1982), og denne metode har været anvendt i talrige danske målekampanjer. For at sikre en god bestemmelse skal der opsamles en del gas. Samtidig er indkøb af badges samt analyse i laboratoriet relativt ressourcekrævende. Disse badges anvendes som reference til at teste målingerne med de low-cost sensorbaserede instrumenter. For at begrænse antallet af målinger er der derfor anvendt 1-uges opsamlere med de passive opsamlere. Erfaringer fra tidligere studier viser at 1-uges opsamlere giver pålidelige målinger.

Endvidere anvendes de rutinemæssige målinger fra målestationen i overvågningsprogrammet. På denne målestation måles kvælstofdioxid ved kemiluminiscense i henhold til forskrifterne i EU's luftkvalitetsdirektiv. Målingerne i overvågningsprogrammet er akkrediterede af DANAK i henhold til ISO 17025.

3.2 Eksperimentelt design

Til det eksperimentelle design er der valgt seks målepunkter på tværs af H.C. Andersens Boulevard (Figur 3.3). Målepunkterne følger en tilnærmelsesvis ret linje i en afstand af mellem seks og syv m i østlig retning fra målestationen. Fem ud af seks målepunkter er endvidere udstyret med to ALMOX-instrumenter og to passiv opsamlere med undtagelse af punkt F, hvor der kun er passive opsamlere. Det sidste skyldes, at der ved kampagnens påbegyndelse var et begrænset antal klargjorte instrumenter til rådighed, idet kun 10 ud af 20 ALMOX-instrumenter var færdigkalibreret. Det betød, at der ved kampagnens start blev fravalgt at opsætte ALMOX-instrumenter ved målepunkt F, da det blev vurderet, at dette målepunkt var det, som man bedst kunne undvære grundet meget kort afstand til målepunkt E. Udstyret er placeret i 2,5 til 3 meters højde, hvilket svarer til målehøjden på overvågningsprogrammets målestationer. Målekampagnen gennemføres over en fire ugers periode fra 9. oktober til 6. november 2019.

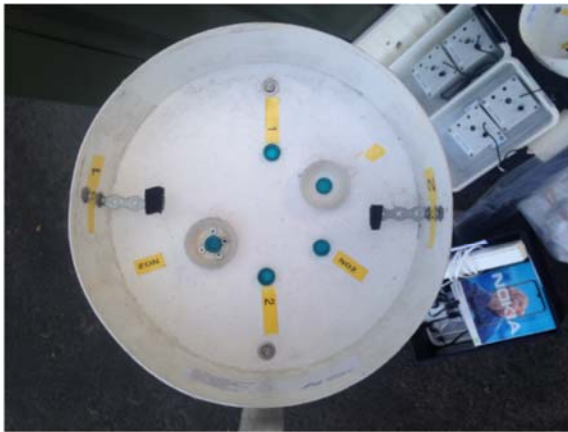
Figur 3.3. Foto af H.C. Andersens Boulevard med målepunkter indtegnet. Position A er ved selve målestationen. Punkt B er placeret ved muren af bygningen på den nordlige side af vejen modsat Tivoli. Punkt C er placeret i et vejtræ, og punkt D på en lygtepæl ved vejkant – begge disse punkter er fortsat på den nordlige side af vejen. Punkterne E og F er placeret i en lygtepæl og et vejtræ på den sydlige side af vejen. Oprindeligt var der endvidere opsat et syvende målepunkt (G), som var placeret på selve hegnet ind til Tivoli på den sydlige side af vejen (ikke indtegnet, men ved beplantningen nederst i billedet).



Såvel ALMOX-instrumenter som passive opsamlere er følsomme over for regn og direkte sollys. Begge målemetoder er derfor fastmonteret i afskærmningsbokse. Opsætningen af ALMOX og de passive opsamlere er illustreret ved fire foto's i Figur 3.4. For at sikre en kontinuerlig drift af ALMOX-instrumenterne, så udskiftes power banks hver anden dag under eksperimentet. De passive samplere skiftes en gang om ugen, og de eksponerede badges forsegles i en lufttæt pose og opbevares på køl indtil analyse. Efter kampagnen analyseres alle passive opsamlere samlet på DCE's laboratorium på Risø ved Roskilde.

I forbindelse med projektopstart giver Københavns Kommune tilsagn til de valgte placeringer, om end man har nogle reservationer i forhold til opsætningen af instrumenter i de to vejtræer. DCE har overset, at man skal indhente tilladelse fra Tivoli til at opsætte udstyr på hegnet ind til forlystelsesparken. Det betyder desværre, at Tivoli's medarbejdere nedtager udstyret på denne position (ikke indtegnet på Figur 3.3). Selv om der arbejdes ihærdigt på en løsning under kampagnens første uger, så lykkes det desværre ikke at få en aftale på plads med Tivoli, og denne måleposition må derfor opgives.

I løbet af kampagnen måles der med ALMOX på selve målestationen på H.C. Andersens Boulevard. Formålet med disse målinger er at sammenligne med de rutinemæssige referencemålinger på målestationen.



(a)



(b)



(c)

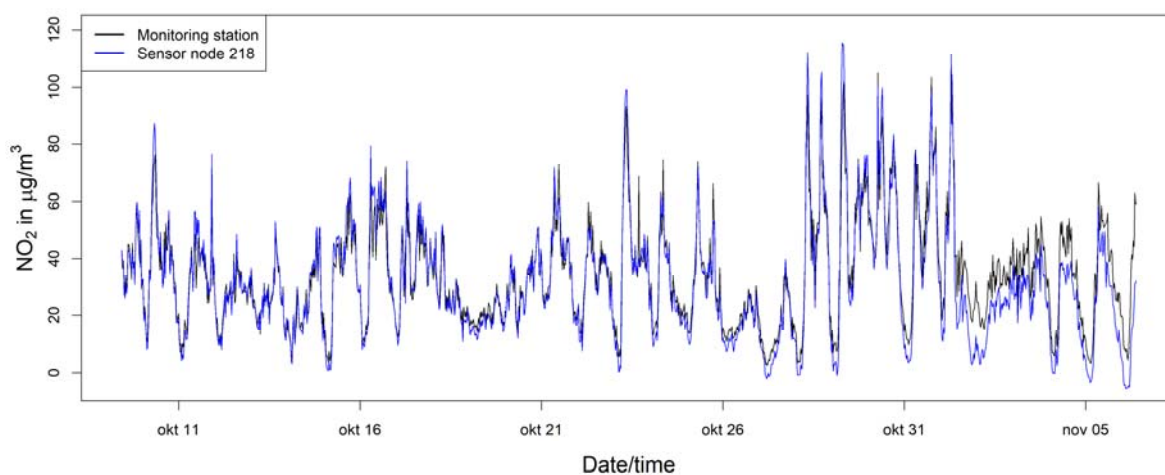


(d)

Figur 3.4. Illustration af monteringen af måleudstyret i forbindelse med målekampagnen. A) Plastikboks til de passive opsamlere. Boksen peger nedad, så man undgår regnvand. B) Boks med ALMOX-instrumenter, power banks og telefon. C) De to bokse monteret ved husfacade (lokalitet B på Figur 3.3). D) De to bokse monteret på lygtepælen (lokalitet C på Figur 3.3).

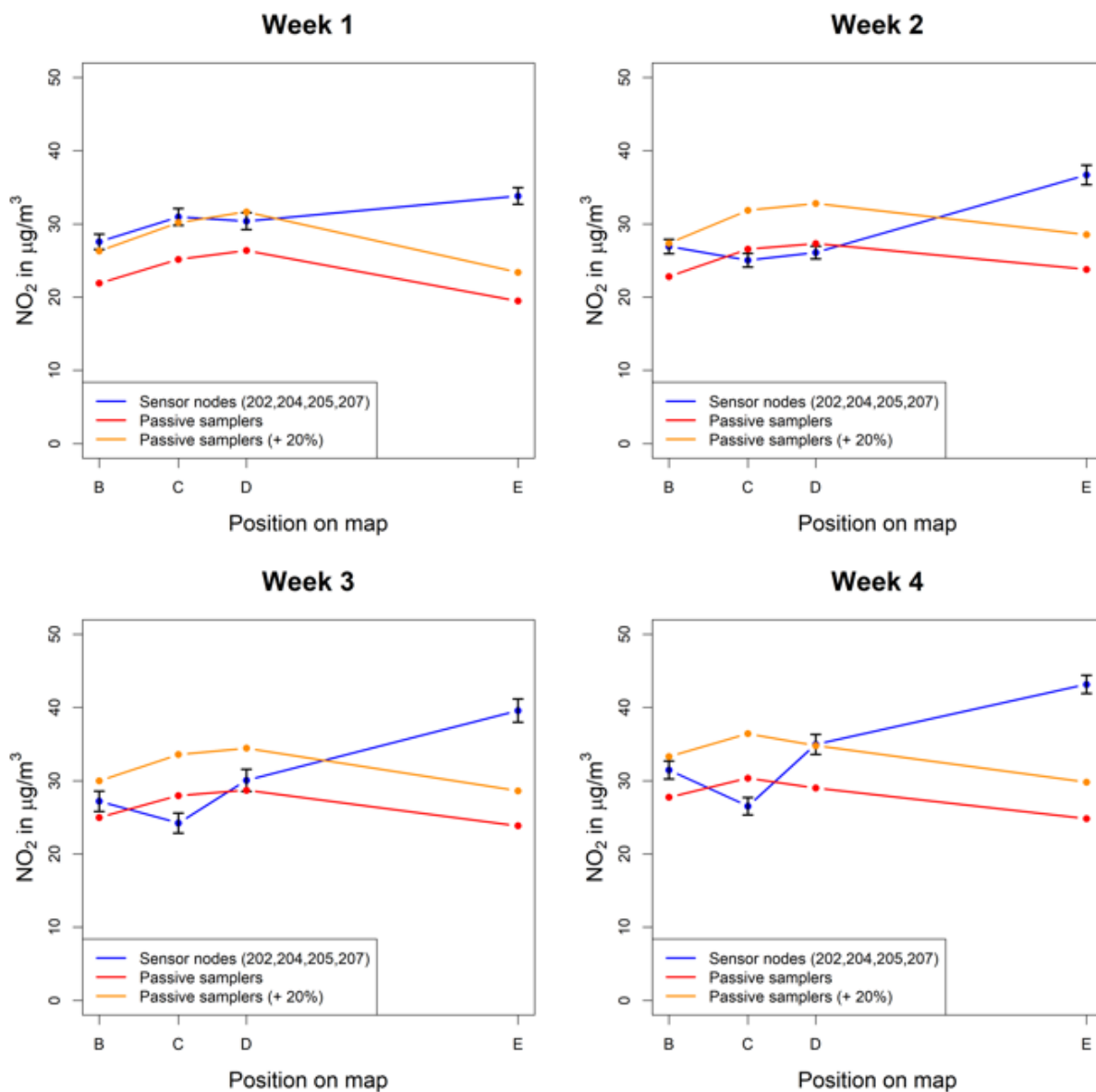
4 Resultater

En sammenligning af kvælstofdioxidmålinger fra et ALMOX-instrument og den rutinemæssige målestation i overvågningsprogrammet er vist i Figur 4.1. Helt generelt ses en meget tilfredsstillende overensstemmelse. Men det skal bemærkes, at plottet er fra den periode, hvor sensoren kalibreres, og hvor referencedata bruges til beregning af sensorkoncentration. Der er altså ikke tale om plot fra testperioden, hvor kalibreringsmodellen testes. Dette skyldes, at ALMOX-instrumenterne på målestationen stadig er under kalibrering, da denne kampagne finder sted. De i alt otte sensorer, som er placeret ved punkt B til E (Figur 3.4), er alle kalibreret i perioden juni til september 2019, og det er disse kalibreringsfunktioner, som er anvendt til bestemmelse af NO₂-koncentrationen i Figur 4.2.



Figur 4.1. Sammenligning mellem ALMOX-målinger og de rutinemæssige målinger på overvågningsprogrammets målestation på H.C. Andersens Boulevard i de fire ugers målekampagne. Som det er anført i selve plottet, så er der tale om et plot af data fra målestationen, som endnu ikke har været igennem den officielle kvalitetskontrol. Derfor skal resultaterne tages med et vist forbehold

For at kunne sammenligne resultater fra ALMOX-instrumenterne med de passive opsamlere, er målingerne af kvælstofdioxid med ALMOX-instrumenterne blevet aggregeret til ugemiddelværdier. Resultatet af sammenligningerne mellem ALMOX og de passive målere er vist i Figur 4.2. Både den røde og gule linje i Figur 4.2 repræsenterer de passive målere. Den røde linje er de målte koncentrationer, mens den gule linje er korrigeret med 20 %. Vi ved fra tidligere studier med de passive opsamlere på vores målestationer (ikke vist her), at de ofte skal korrigeres med 20 %. Det skal bemærkes, at der trods dobbeltbestemmelse for alle ALMOX-instrumenter, kun er benyttet en ALMOX per målepunkt i Figur 4.2. Det skyldes en detaljeret analyse af instrumenterne, hvorefter de bedste ALMOX-instrumenter er udvalgt på baggrund af øget kendskab til pålidelige og holdbare kalibreringsfaktorer. Med andre ord, er der udvalgt de sensorer med de bedste kalibreringsmodeller.



Figur 4.2. Sammenligninger af koncentrationsprofiler for kvælstofdioxid hen over H.C. Andersens Boulevard bestemt ved ALMOX low-cost sensorer (anført som "Sensor nodes" i plottene) og passive opsamlere (anført som "Passive samplers" i plottene). De fire plots (B til E) viser resultaterne for de fire måleuger under kampagnen.

For alle fire uger er der for punkt B rigtig god overensstemmelse mellem ALMOX-instrumentet og de passive målere. For målepunkt D er der lidt større variation mellem ALMOX og de passive målere hen over de fire uger, men generelt en god overensstemmelse. ALMOX-instrumentet anvendt ved målepunkt C stemmer rigtig fint overens med de passive målere for den første uge. Derefter ses en gradvist større afvigelse hen over ugerne. Vi ved fra efterfølgende genkalibrering af ALMOX-instrumenterne, at ALMOX 204, som er benyttet ved punkt C, udviser drift over tid, og dermed underestimerer koncentrationen. Dette kan være forklaringen på den stigende afvigelse fra uge et til fire. For målepunkt E ved den sydlige side af vejen overestimerer ALMOX-instrumentet NO₂-koncentrationen i forhold til de passive målere. ALMOX-instrumentet viste dog tilfredsstillende korrelation med rutinemæssige målinger under valideringsstudiet. Forskellen kan derfor skyldes ustabilitet i ALMOX-

instrumenterne, så kalibreringsmodellen er skredet over tid. Dette har genkalibreringsstudier, udført efter denne kampagne, indikeret er sandsynligt (ikke vist her). Det betyder desværre, at resultaterne fra flere af målepunkterne i profilen er behæftet med stor usikkerhed. Dermed er det ikke lykkedes at få en godt bestemt koncentrationsprofil for kvælstofdioxid tværs over vejen baseret på ALMOX-målingerne, hvilket ellers var formålet med undersøgelsen.

5 Konklusion

Det er en udfordring at gennemføre målekampanjer med nyt udstyr, som man har begrænset erfaring med, og hvor validering kun lige er gennemført. I dette tilfælde var de MOx-baserede low-cost sensorer ALMOX kalibreret og testet gennem kampanjer på H.C. Andersens Boulevard og målestationen på Risø ved Roskilde. Et af hovedformålene med undersøgelsen var at studere koncentrationsprofilen på tværs af H.C. Andersens Boulevard. Denne del af projektet blev imidlertid ødelagt som følge af flere forhold.

Det første af disse forhold var vores manglende indhentning af tilladelse fra Tivoli til opsætning af målepunkt på hegnet ind til forlystelsesparken, som førte til, at Tivoli's medarbejdere tog udstyret ned. Desværre lykkedes det ikke under kampanjen at få den manglende tilladelse på plads, og derfor fik vi aldrig dette målepunkt med i undersøgelsen.

Det andet forhold var uheldige omstændigheder med ALMOX-instrumenterne i det sydlige yderpunkt af det tværgående profil. Her er fordelingen af instrumenter uheldigvis blevet således, at begge ALMOX-instrumenter er blandt de instrumenter, som har udvist ustabilitet i kalibreringsmodellen. Ydermere er den stigende afvigelse for ALMOX-instrumentet ved målepunkt C med til at forringe billedet af koncentrationsprofilen. Efter kampanjen er der blevet arbejdet specifikt med disse instrumenter. De er blevet renoveret ved at udskifte de dele, der viste sig ikke at være velfungerende. Samtidig har intensivt arbejde med rutinerne omkring kalibreringen af instrumenterne givet en dybere forståelse af instrumenterne og deres funktion.

Den gennemførte kampagne gav en masse vigtig erfaring med ALMOX-instrumenterne, som må betragtes som værende under fortsat udvikling. Hovedformålet med kampanjen var imidlertid at vurdere koncentrationsprofilen på tværs af H.C. Andersens Boulevard, og her viste målingerne sig at have for store usikkerheder. I forhold til ALMOX-instrumenternes udvikling blev denne kampagne formentlig gennemført lidt for tidligt, da arbejdet med kalibrering og tests fortsat pågik. De positive resultater fra tidligere valideringstests, som er set for hovedparten af ALMOX-instrumenterne, giver dog anledning til optimisme i forhold til fremtidige studier. Testene viser, at der i en produktion vil være instrumenter, som giver dårlige resultater samt at der er stor individuel variation instrumenterne imellem. Instrumenter med funktionsfejl skal frasorteres inden kampanjer og gennemgå en renowering med udskiftning af dårlige dele. Tilsvarende skal man have stor opmærksomhed på, hvordan instrumenterne opfører sig over tid. DCE mener imidlertid fortsat, at der er mulighed for at anvende disse instrumenter til at studere koncentrationsprofiler, når blot man har fokus på disse udfordringer. Derfor er det DCE's hensigt at arbejde for en gentagelse af eksperimentet, ligesom det er hensigten ligeledes at undersøge mulighederne for at gennemføre et tilsvarende eksperiment på Jagtvej, samt at udføre eksperimenter til studier af de vertikale profiler i gaderummet (fra vejbane og op mod gaderummets top i tagniveau). Det sidste er kun meget sporadisk undersøgt i tidligere studier.

6 Referencer

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzler, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C. & Jensen, S.S. 2020. The Danish Air Quality-Monitoring Programme. Annual Summary for 2018. Aarhus University, DCE- Danish Centre for Environment and Energy, 83 pp. Scientific Report No. 360. <http://dce2.au.dk/pub/SR360.pdf>

Hertel, O., Ellermann, T., Nielsen, O.-K., and Jensen, S.S., 2015. Clean Air for Denmark – Dedicated efforts since 1970 - Challenges, Solutions and Results, 48p AU/DCE, Danish EPA and State of Green, Roskilde, Denmark 2015.

Yanagisawa, Y., and H. Nishimura, A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to NO₂ and no in ambient air," *Environment International*, vol. 8, pp. 235-242, 1982.