

Kræftens Bekæmpelse

1. oktober 2024

Miljøministeriet
Departementet
Frederiksholms Kanal 26
1220 København K

Strandboulevarden 49
2100 København Ø

Tlf +45 35 25 75 00
www.cancer.dk

CVR:55629013

TILBUD på udførelse af et forskningsprojekt om mulig sammenhæng mellem ultrafine partikler og helbredseffekter ved Københavns Lufthavn

Mange tak for jeres henvendelse om tilbud på udførelse af et forskningsprojekt om mulig sammenhæng mellem ultrafine partikler og helbredseffekter ved Københavns Lufthavn.

Vi har i vedlagte tilbud beskrevet, hvordan vi vil løse opgaven og hvilke ressourcer vi stiller til rådighed.

Vores samlede økonomiske tilbud til løsning af opgaven udgør **kr. 2.000.000**, til udførelse af et registerstudie af mulig sammenhæng mellem ultrafine partikler fra Københavns Lufthavn og risiko for hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død, samt udførelse af et litteraturstudie med sammenfatning af eksisterende international viden om helbredseffekter af luftforurening fra lufthavne.

Det vil øge kvaliteten af forskningsprojektet hvis den økonomiske ramme for projektet kan udvides med 500.000 kr. Det vil gøre det muligt for Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE), Aarhus Universitet, at gennemføre modellering af ultrafine partikler i et 100x100 m net der dækker Amager for årene fra 1995 til 2023. Appendiks 1 beskriver denne mulige udvidelse af projektet.

Vi håber at tilbuddet opfylder Miljøministeriets krav og forventninger og det ville glæde os meget, hvis vi får lejlighed til at udføre dette vigtige forskningsprojekt.

Med venlig hilsen

Mette Sørensen
Gruppenleder, Kræftens Bekæmpelse



1. Indledning

Som nævnt i Miljøministeriets kravspecifikation af 23. august 2024 (j.nr. 2024-6427) er der meget begrænset viden om mulige helbredseffekter af ultrafine partikler (UFP) fra flytrafik blandt personer bosiddende tæt ved en lufthavn, både i Danmark og internationalt. For at skabe mere viden foreslår vi at udføre et registerstudie, hvor forskere fra Center for Kræftforskning, Kræftens Bekæmpelse, bruger information om koncentrationer af UFP omkring Københavns Lufthavn allerede oparbejdet af Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) kombineret med danske administrative og helbredsregistre til at undersøge om UFP fra Københavns Lufthavn er associeret med en forøget risiko for hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død. Registerstudiet vil blive suppleret med et litteraturstudie af den eksisterende internationale viden om helbredseffekter af luftforurening fra lufthavne, med særlig fokus på UFP.

Vi vil give opgaven høj prioritet og er i stand til at starte arbejdet umiddelbart efter underskrivelse af kontrakt.

2. Beskrivelse af Registerprojektet

2.1. Formål

Hovedformålet med forskningsprojektet er at anvende de unikke danske registre, kombineret med målinger og modelleringer af UFP for boligområder tæt ved Københavns Lufthavn til at undersøge om udsættelse for disse partikler øger risikoen for hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død blandt befolkningen bosiddende nær lufthavnen.

2.2. Baggrund

UFP (partikler $<0,1 \mu\text{m}$ i diameter) mistænkes for at være mere skadelige for helbredet end større partikler [1]. På grund af deres lille størrelse kan de nå de nederste lungeregioner (alveoler), hvorfra de kan transporteres til andre organer gennem lungernes blodkar. Desuden øges toksiciteten af UFP af deres store overfladeareal i forhold til masse, hvilket muliggør transport af en stor mængde potentielt toksiske forbindelser pr. volumenenhed. Dette kan inducere biologiske risikofaktorer for hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død, blandt andet lokal og systemisk inflammation, oksidativt stress og dysfunktion i de små blodkar [1].

Epidemiologiske studier har peget på at udsættelse for UFP ved bopælen øger risiko for hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død [2-7]. Disse studier har hovedsageligt bestemt UFP baseret på enten daglige baggrundsmålinger (korttidsstudier) eller modellering baseret på information om blandt andet vejtrafik og målinger (langtidsstudier). Studierne har fokuseret på UFP fra andre kilder end flytrafik og på trods af at en række studier har fundet forhøjede UFP-niveauer i og omkring lufthavne [8, 9], er der kun gennemført ganske få studier af sammenhæng mellem UFP omkring lufthavne og helbred [10-12]. Da nogle undersøgelser har vist, at der muligvis er forskel på størrelsesfordelingen og toksiciteten af UFP fra vejtrafik og flytrafik [13, 14], kan resultater af helbredseffekter af UFP fra veje ikke nødvendigvis sammenlignes en-til-en med helbredseffekter af UFP fra fly. Der er derfor brug for mere forskning i helbredseffekter af UFP fra lufthavne.



2.3. Forskningsplan

Vi vil fokusere på at undersøge sammenhæng mellem UFP omkring Københavns Lufthavn og risiko for hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død, da flere tidligere studier af udsættelse for UFP fra andre kilder end fly har fundet sammenhæng med disse helbredsmål.

2.3.1. Studiepopulationen

Vi vil til dette projekt opbygge en studiepopulation på Danmarks Statistik baseret på alle personer der bor eller har boet på Amager (ekskl. Christianshavn) i perioden 2000 til 2023, svarende til alle personer indenfor omkring 5 km radius fra Københavns Lufthavn. I 2017 boede der ca. 200.000 mennesker på Amager, og af disse boede mellem 80.000 og 90.000 personer indenfor en 3 km radius fra lufthavnen. Da vores helbredsmål (hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død) hovedsageligt optræder i den ældre befolkning vil vi fokusere på personer ældre end 40 år. Baseret på CPR-register data, har vi beregnet at i vores studieperiode fra 2000 til 2023 vil omkring 175.000 personer i alderen 40 år eller ældre have været bosat på Amager – mindst 60.000 af disse indenfor en 3 km radius fra lufthavnen.

Vi vil baseret på CPR-registret oparbejde komplet adresse-historie for alle der har boet på Amager på et tidspunkt i perioden fra 1995 til 2023 på Kræftens Bekæmpelses server på Danmarks Statistik. Efterfølgende vil vi koble disse adresser med udsættelse for UFP fra lufthavnen (se afsnit 2.3.2), UFP fra andre kilder (se afsnit 2.3.4) og flystøj (se afsnit 2.3.4). Hvis en person flytter fra Amager til en anden adresse i Danmark, vil personen fortsat blive fulgt op for sygdom og død i studieperioden.

På individniveau vil vi, baseret på personernes CPR-nummer, indhente årlig information i Danmarks Statistiks registre om en række sociodemografiske variable såsom uddannelse, individuel- og familieindkomst, oprindelsesland, om man bor alene eller med partner, arbejdsfunktion for folk i arbejde, samt dato for pension og evt. arbejdsløshed. Desuden vil vi oparbejde information om en række socioøkonomiske variable på område-niveau.

Vi vil imputere livsstilsdata (rygning, fysisk aktivitet og kost) for alle i vores studiepopulation, baseret på harmoniserede, allerede tilgængelige spørgeskema-baserede livsstilsoplysninger fra omkring 650.000 danskere som har deltaget i en (eller flere) af følgende undersøgelser: Den Nationale Sundhedsprofil, Kost, Kræft og Helbred kohorten eller Kost, Kræft og Helbred – næste generation [15-17]. For at sikre det bedst muligt datagrundlag til imputering, vil vi foretage dette for hele den danske befolkning og efterfølgende beskære til vores studiepopulation.

2.3.2. Bestemmelse af udsættelse for ultrafine partikler fra lufthavn

Vi vil benytte os af forskellige datakilder oparbejdet af DCE til at bestemme udsættelse for UFP fra lufthavnen for studiepopulationen:

- I) Målinger af UFP i området omkring Københavns Lufthavn foretaget af DCE i perioden fra juni 2022 til februar 2024 i et projekt finansieret og udført for Miljøministeriet. Projektets metoder og resultater er beskrevet i DCE rapport nr. 599, 2024 [9]. Målingerne er gennemført så de repræsenterer områder indenfor den første km, mellem 1 og 2 km, og mellem 2 og 3 km fra lufthavnen. Der er målt i fire transekter fra



lufthavnen, en mod nord, to mod vest og én mod syd. Målingerne viser aftagende koncentrationer med længere afstand fra lufthavnen, med koncentrationer på 18.000–24.100 per cm^3 lige ved lufthavnen, 15.100–26.500 per cm^3 0–1 km fra lufthavnen, 9.700–18.500 per cm^3 1–2 km fra lufthavnen, 7.600–11.900 per cm^3 2–3 km fra lufthavnen, og 5.600–10.000 per cm^3 3 km fra lufthavnen. Lufthavnen bidrog med 56–74% af den samlede UFP-koncentration lige ved lufthavnen og 14–24% af den samlede UFP-koncentration i ca. 3 km afstand fra lufthavnen. Udover afstand fra lufthavnen afspejlede de observerede UFP niveauer også den fremherskende vindretning i området.

- II) Modellering af årsmiddelværdier for UFP-koncentration for 2023 i 250x250 m kvadrater i 10 kilometers radius fra Københavns Lufthavn. Dette projekt er igangsat af Tårnby kommune og gennemført af DCE. Denne modellering er baseret på en spredningsmodel med input data fra lufthavnen vedr. emissioner fra fly m.v. fordelt på tid og sted, samt meteorologiske data. Anvendelsen af disse data forudsætter, at de gøres tilgængelige for vores registerstudie, hvilket kræver Tårnby kommunes accept. Projektgruppen vil tage kontakt til Tårnby kommune ved projektstart. Ifølge DCE er modelleringsdata færdige og kan udleveres midt-november 2024, hvor projektets resultater offentliggøres.
- III) Der er gennemført målinger af UFP i Tårnby kommune, som snart forventes offentliggjort. Hvis disse stilles til rådighed for os, vil vi også anvende disse data.

Baseret på disse datakilder vil vi dele studie-populationen op i eksponeringsgrupper, hvor afstanden mellem lufthavnen og boligområderne vil være det væsentligste kriterium (datakilde I). Vi vil dog modificere afstandene svarende til fx lav, medium og høj udsættelse ud fra de modellerede UFP-koncentrationer i 250x250 m kvadrater (datakilde II) og målingerne foretaget i Tårnby kommune (datakilde III). DCE's målinger viste, at lufthavnen bidrog med 14–24% af UFP i 3 km afstand fra lufthavnen. Vi medtager derfor boligområder fra hele Amager, svarende til en afstand på op til ca. 5 km fra lufthavnen, for at kunne definere en reference-gruppe, hvor bidraget fra lufthavnen til UFP-koncentrationen er meget lavt.

Vi vil desuden baseret på datakilde II) tildele alle personer i studie-populationen en absolut (ikke blot høj, mellem, lav) UFP-koncentration (kontinuert skala) svarende til koncentrationen i 2023 beregnet for det 250*250 m kvadrat hvor personens bolig er placeret. I fald yderligere finansiering muliggør bestemmelse af UFP med den mere avancerede metode beskrevet i *Appendiks 1* vil vi få beregnede koncentrationer af UFP fra lufthavnen for hele Amager med en:

- a) højere geografisk opløsning, svarende til UFP-koncentrationen i 100*100 m kvadrater.
- b) høj tidsmæssig opløsning, med bestemmelse af UFP fra lufthavnen (i 100*100 m) for 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 og 2020, hvilket vil gøre os i stand til at anvende UFP-eksponering tilbage i tid med et mål, der reflekterer ændring i flytrafik og emissioner fra fly over tid.

Disse to forbedringer vil øge sikkerheden af projektets konklusioner.

2.3.3. Hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død

Vi vil i vores statistiske analyser undersøge sammenhæng mellem UFP og incident hjertekarsygdom (første indlæggelse for en hjertekarsygdom), samt med undertyper af hjertekarsygdom bl.a. blodprop i hjertet, slagtilfælde og hjertesvigt. Vi vil også undersøge sammenhæng



med lungebetændelse, lungekræft og kronisk obstruktiv lungesygdom (KOL). Vi vil indhente information omkring hvem i vores studiepopulation der har fået en diagnose af disse sygdomme i Landspatientregistret [18]. Baseret på allerede tilgængelig information fra Landpatientregistret har vi beregnet at i vores studiepopulation (Amager), vil der være mellem 55.000 og 60.000 personer med en eller flere diagnoser for hjertekarsygdom (International Classification of Disease v10, ICD, I00–I99) i løbet af studieperioden. Af disse personer vil ca. 18.000 have diagnose af blodprop i hjertet og 12.000 vil have et slagtilfælde. Desuden har vi beregnet at ca. 22.500 personer indlægges med lungebetændelse (ICD10: J12-J18), 3.000 personer udvikler lungekræft (ICD10: C34) og 6.500 personer udvikler KOL (J42-J44).

Vi vil også undersøge sammenhæng med død af alle årsager, samt død som følge af hjertekarsygdom, luftvejssygdom og kræft. Baseret på dataudtræk fra Dødsårsagsregistret har vi beregnet at der i studiepopulationen, vil være mellem 50.000 og 55.000 dødsfald i løbet af studieperioden. Ifølge Sundhedsdatastyrelsen skyldtes omkring 26% af alle dødsfald i Danmark i perioden 2000–2023 hjertekarsygdom, omkring 10% dødsfald skyldtes luftvejssygdomme og omkring 29% dødsfald skyldtes kræft. Det svarer til ca. 14.000 døde pga. hjertekarsygdom, 5.500 døde pga. luftvejssygdom og 15.000 døde pga. kræft i vores studiepopulation.

2.3.4. Flystøj og luftforurening fra andre kilder

Vi forventer at flystøj og UFP fra lufthavnen er korrelerede. Vi vil derfor i vores statistiske analyser af UFP fra lufthavnen justere for flystøj, så vi kan minimere risikoen for at et evt. fund af sammenhæng mellem UFP og sygdom eller død er en effekt af flystøj. Vi har allerede indhentet detaljerede støjdata fra lufthavnen for årene 2008, 2011, 2014 og 2018. Vi har i forbindelse med dette tilbud været i forbindelse med Peer Borglund, Senior Specialist i Københavns Lufthavne, som har givet tilsagn om yderligere levering af støjdata fra lufthavnen for 2021 og 2024. Vi vil efterfølgende linke periode-specifikt flystøjdata til adresser for alle personer i studiepopulationen.

UFP fra lufthavnen og vejtrafik er muligvis også korrelerede, da lufthavnen medfører en del ekstra vejtrafik. Vi vil derfor justere vores statistiske analyser for UFP fra trafik. Vi har i forbindelse med et eksisterende forskningsprojekt oparbejdet information om UFP fra andre kilder end lufthavne for alle adresser i Danmark for perioden 1990 til 2017 i samarbejde med DCE. Vi vil anvende disse data til at justere de statistiske analyser for UFP fra andre kilder.

2.3.5. Statistiske analyser og styrke

Vi vil følge studiepopulation op for incident hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død fra 2000 til 2023 i et klassisk kohorte-design. Vi vil bruge Cox Proportional Hazard Model til at beregne sammenhængen mellem udsættelse for UFP i eksponeringskategorier som defineret i 2.3.2, med den laveste eksponeringskategori som reference. På basis af deltagernes komplette adressehistorik fastsættes deres UFP-eksponerings kategori ud fra deres adresser over de foregående 1 og 5 år. Folk der er i denne periode, har beboet flere adresser med forskellig eksponering kategoriseres separat i analyserne.

Vi vil desuden beregne sammenhæng mellem UFP-eksponering på en kontinuert skala bestemt ved brug af datakilde II (svarende til UFP i 2023) og hjertekarsygdom, luftvejssygdom og død. Vi vil beregne løbende 1- og 5-års gennemsnit af UFP fra lufthavnen baseret på



deltagernes adressehistorik. Hvis yderligere finansiering muliggør bestemmelse af UFP vha. metoden beskrevet i *Appendiks 1* vil vi beregne de løbende gennemsnit med hensyntagen til ændring i UFP-niveau over tid på en given adresse, hvilket vil give et mere præcist mål for faktiske UFP-udsættelse i vores studieperiode.

Vi vil justere alle analyser for alder ved at inkludere denne i vores statistiske model som underliggende tid. Vi vil justere analyserne i 4 justeringsmodeller: model 1 med justering for køn og kalenderår, model 2 med yderligere justering for individ-niveau socioøkonomi (uddannelse, indkomst, arbejdsmarkedstilknøytning, civil status og oprindelsesland) samt socioøkonomi på områdeniveau, model 3 med yderligere justering for livsstilfaktorer (rygning, kost, fysisk aktivitet; baseret på imputerede data), samt model 4 med yderligere justering for flystøj og UFP fra andre kilder.

Vi har beregnet statistisk styrke med udgangspunkt i en studiepopulation på 175.000 personer hvoraf 60.000 er eksponerede for forhøjede niveauer af UFP fra lufthavnen (svarende til dem der bor indenfor en 3 km radius). Ved en analyse af eksponerede versus ikke-eksponerede personer giver dette (baseret på de ovenfor anført forventede antal sygdomstilfælde) en statistisk styrke på over 80% til at detektere: en 3% højere risiko for død, en 5% højere risiko for blodprop i hjertet, en 8% højere risiko for KOL og en 12% forøget risiko for lungekræft.

3. Beskrivelse af Litteratursøgning

Vi vil foretage en systematisk litteratursøgning i PubMed for at afdække eksisterende peer reviewed litteratur om helbredseffekter af luftforurening fra lufthavne og risiko for sygdom og død. Litteraturstudiet vil primært fokusere på UFP, men vil også identificere videnskabelige studier der har undersøgt helbredseffekter af andre komponenter i luftforureningen fra lufthavne, f.eks. NO₂ og PM_{2.5}. Vi vil anvende Google søgning til at identificere eventuelle forskningsresultater af UFP og helbred, som kun findes tilgængelige i rapporter. F.eks. har vi identificeret en hollandsk rapport om helbredseffekter af UFP fra Schiphol lufthavn, hvis resultater ikke er rapporteret i peer reviewed artikler [12]. Vi vil desuden kontakte vores internationale forskningsnetværk for at afklare om lignende forskningsprojekter er i gang eller planlægges. Vores søgning opdateres løbende for at inkludere nye publikationer, indtil projektet er afsluttet.

4. Kvalitetssikring

Alle data vil ved modtagelse blive kontrolleret for manglende værdier og for fordeling af værdier. Flere medlemmer af projektgruppen vil løbende tjekke programmer og data og gruppen vil mødes regelmæssigt for at sikre at evt. problemer opdages og løses så tidligt som muligt. Endeligt vil studiets resultater blive afrapporteret i internationale videnskabelige tidsskrifter, hvor peer-review processen sikrer at anonyme og uafhængige internationale eksperter kvalitetssikrer alt fra metoder og analyse til resultater og fortolkning.

5. Projektgruppen og projektet realiserbarhed

Projektgruppen består af Mette Sørensen (projektleder), Aslak Harbo Poulsen og Ole Raaschou-Nielsen, som er blandt de førende forskere internationalt i forhold til at afdække



helbredseffekter af UFP. De har bl.a. været hovedforfattere på flere af de første videnskabelige artikler om helbredseffekter af langtidseksponering for UFP i store populationer [2, 19-23].

Projektgruppen har de seneste 5 år arbejdet på at opbygge en database over hele den danske befolkning indeholdende detaljeret information om bl.a. en række luftforureningskomponenter (inkl. UFP) og trafikstøj (inkl. flystøj) på adresse-niveau fra 1990 og frem til 2017. Derudover indeholder databasen komplet adresse-historie samt information om socioøkonomi, sygdom og død for alle bosiddende i Danmark fra 1990 til 2017. Denne database vil efter en opdatering af data til 2023 blive brugt til at sikre projektets succes.

Projektlederen, *Mette Sørensen*, professor og gruppeleder, er en meget erfaren projektleder. Hun har bl.a. for nyligt ledet et stort nordisk forskningssamarbejde (NordSOUND) med over 25 deltagende forskere fra Danmark, Sverige, Norge og Finland, med fokus på at undersøge helbredseffekter af trafikstøj på tværs af de nordiske lande [24-26]. Hun har stor erfaring i at udføre registerstudier af miljøfaktorer og sygdom og død baseret på store danske populationer. Med over 230 videnskabelige forsknings artikler, flere i højt estimerede tidsskrifter [27, 28], er hun en anerkendt forsker indenfor miljø-epidemiologi og rangerer bl.a. som den 2. højest rangerede ekspert i verden indenfor trafikstøj (Expertscape).

Aslak Harbo Poulsen, seniorforsker, har omfattende erfaring indenfor forskning i miljøeksponeringer og deres sundhedsmæssige konsekvenser. Han har været førsteforfatter på projektgruppens publikationer om UFP og hjertekarsygdomme [2, 20-22], hvor han også har haft ansvar for statistisk analyse og behandling af de komplekse tidsafhængige data. Han har tidligere arbejdet på projekter med stor offentlig bevågenhed omhandlende sundhedsrisici forbundet med vindmøllestøj [29] og mobiltelefonbrug. Han har stor erfaring med at arbejde med store datasæt og komplekse eksponeringsvariable og har stået for datakvalitet og tilrettelæggelse af den statistiske analyse i en lang række publikationer. Han er medforfatter på 100 videnskabelige artikler.

Ole Raasschou-Nielsen, professor og seniorforsker, er en erfaren miljø-epidemiolog med mere end 350 videnskabelige artikler vedr. helbredseffekter af blandt andet radon, organiske klorforbindelser, cadmium, arsen i drikkevand, PFAS, og støj. Hovedfokus for hans forskning gennem 3 årtier har dog været helbredseffekter af luftforurening, herunder UFP. Arbejdet har omfattet både udvikling og validering af eksponeringsmodeller og en række studier af dødelighed, cancer, hjertekarsygdomme, luftvejssygdomme, m.v. Han har stor erfaring i studier der anvender de nationale danske registre.

Forskerne fra Center for Kræftforskning, Kræftens Bekæmpelse vil desuden samarbejde med forskere fra DCE (Professor Matthias Ketzel og Seniorforsker Steen Solvang Jensen) i forbindelse med bl.a. overdragelse af eksponeringsdata, fortolkning af resultater og udarbejdelse af videnskabelige artikler. Forskerne fra DCE har detaljeret viden om kilder og niveauer af luftforurening i Danmark, inkl. partikelantal / UFP, og har i flere projekter og publikationer arbejdet specielt med emissioner fra lufthavne.

Projektgruppen har derfor alle nødvendige kompetencer for at sikre at projektet bliver en succes, samt adgang til unikke data som er essentielle for at projektet kan gennemføres.



6. Tidsplan, afrapportering og kommunikation

Projektet løber over 24 måneder med følgende tidsplan for projektets opgaver og leveringer:

Opgaver	År 1				År 2			
	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
Studiepopulation laves, UFP kobles på	■	■	■	■				
Følgegruppemøde		■			■			
Artikel, UFP og død			■	■				
Litteratursøgning			■	■	■	■	■	■
Midtvejsrapport				■				
Artikel, UFP og hjertekarsygdom				■	■	■	■	
Artikel, UFP og luftvejssygdom						■	■	■
Slutrapport								■

Registerstudiet planlægges at resultere i tre videnskabelige, peer reviewed artikler i internationale tidsskrifter. Artiklerne forventes accepteret løbende igennem projektperioden; nogle muligvis efter projektets løbetid på 24 måneder, da review-processen kan trække ud, hvilket er ude af projektgruppens kontrol. For hver artikel vil vi sende en beskrivelse af artiklens resultater til Miljøministeriet ved accept af artiklen sammen med en dato for hvornår artiklen publiceres. Denne information er fortrolig indtil artiklen publiceres.

Efter 12 måneder vil projektgruppen levere en midtvejsrapport, hvor vi beskriver projektets fremdrift. Denne rapport vil blive fremlagt ved et møde med Miljøministeriet.

Efter 24 måneder vil projektgruppen levere en slutrapport, hvor registerstudiets resultater beskrives sammen med en opsummering af den eksisterende forskning på området baseret på litteratursøgningen. Denne rapport vil blive fremlagt ved et møde med Miljøministeriet.

7. Budget

Projektet som beskrevet i dette dokument kan finansieres af en bevilling på 2.000.000 kr. fra Miljøministeriet. Dersom det lykkes Miljøministeriet at finde yderligere 500.000 kr. kan projektet udvides, så modelleringen af luftforurening også gennemføres for årene 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 og 2020, som beskrevet i Appendiks 1.

Budgetpost	Beskrivelse	Omkostning Projekt som beskrevet her (kr.)	Omkostning Udvidet pro- jekt; se Appen- diks 1 (kr.)
24 mdr. løn til Aslak H Poulsen	Daglig PI, opdatere registerdata til 2023, definere UFP-kategorier, klargøre datasæt, analyse-strategi, statistiske analyser, skrive videnskabelige artikler og rapporter til MIM, litteratursøgning	1.680.000	1.680.000



Videnskabeligt samarbejde, DCE	Overdragelse af eksponeringsdata, input til UFP-kategorier, fortolkning af resultater, medforfatter på videnskabelige artikler	100.000	600.000
Danmarks Statistik	Overførsel af data til Danmarks Statistiks server	16.000	16.000
Peer review online tidsskrifter	Gebyr for publicering af forskningsartikler	60.000	60.000
1 md. løn Mette Sørensen	Projektleder, input til UFP-kategorier og analyse-strategi, tjek af data og programmer, medforfatter videnskabelige artikler og rapporter til MIM.	72.000	72.000
1 md. løn Ole Raaschou-Nielsen	Input til bestemmelse af UFP-eksponering, statistiske analyser, fortolkning af resultater samt kritisk læsning af manuskripter og rapporter til MIM.	72.000	72.000
SUM		2.000.000	2.500.000

Center for Kræftforskning, Kræftens Bekæmpelse, tilbyder derudover medfinansiering af studiet med 216.000 kr. til dækning af yderligere 2 måneders løn til projektlederen Mette Sørensen (144.000 kr.) og 1 måneds løn til Ole Raaschou-Nielsen (72.000 kr.).

Projektet, som beskrevet i dette dokument, har dermed et samlet budget på 2.216.000 kr.

8. Følgegruppe

Ved projektstart vil projektgruppen kontakte følgende forskere med henblik på at etablere en følgegruppe til forskningsprojektet:

- Lektor Marie Pedersen, Institut for Folkesundhedsvidenskab, Københavns Universitet
- Professor Torben Sigsgaard, Institut for Folkesundhed, Aarhus Universitet
- Group Leader Kees de Hoogh, Swiss Tropical and Public Health Institute, Schweiz
- Lektor, gruppeleder Petter Ljungman, Unit of Environmental Epidemiology, Karolinska Institutet, Sverige.

Projektgruppen planlægger at mødes med følgegruppen to gange (online møder) for at få input til projektets design (møde 1) og diskutere projektets resultater (møde 2).



Referencer

1. Schraufnagel, D.E., *The health effects of ultrafine particles*. Exp Mol Med, 2020. **52**(3): p. 311-317.
2. Poulsen, A.H., et al., *Source-Specific Air Pollution Including Ultrafine Particles and Risk of Myocardial Infarction: A Nationwide Cohort Study from Denmark*. Environ Health Perspect, 2023. **131**(5): p. 57010.
3. Bergmann, M.L., et al., *Short-term exposure to ultrafine particles and mortality and hospital admissions due to respiratory and cardiovascular diseases in Copenhagen, Denmark*. Environ Pollut, 2023. **336**: p. 122396.
4. Schwarz, M., et al., *Impact of Ambient Ultrafine Particles on Cause-Specific Mortality in Three German Cities*. Am J Respir Crit Care Med, 2023. **207**(10): p. 1334-1344.
5. Bouma, F., et al., *Long-term exposure to ultrafine particles and natural and cause-specific mortality*. Environ Int, 2023. **175**: p. 107960.
6. Weichenthal, S., et al., *Long-term exposure to ambient ultrafine particles and respiratory disease incidence in Toronto, Canada: a cohort study*. Environ Health, 2017. **16**(1): p. 64.
7. Samoli, E., et al., *Meta-analysis on short-term exposure to ambient ultrafine particles and respiratory morbidity*. Eur Respir Rev, 2020. **29**(158).
8. Riley, K., et al., *A Systematic Review of The Impact of Commercial Aircraft Activity on Air Quality Near Airports*. City Environ Interact, 2021. **11**.
9. Ellermann, T., et al., *Måling og partikelforureningen omkring Københavns Lufthavn i Kastrup*. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 2024. nr. **599**.
10. Habre, R., et al., *Short-term effects of airport-associated ultrafine particle exposure on lung function and inflammation in adults with asthma*. Environ Int, 2018. **118**: p. 48-59.
11. Lenssen, E.S., et al., *Beyond the Runway: Respiratory health effects of ultrafine particles from aviation in children*. Environ Int, 2024. **188**: p. 108759.
12. Janssen, N.A.H., et al., *Effects of long-term exposure to ultrafine particles from aviation around Schiphol Airport*. RIVM report 2022-0068, 2022.
13. Austin, E., et al., *Distinct Ultrafine Particle Profiles Associated with Aircraft and Roadway Traffic*. Environ Sci Technol, 2021. **55**(5): p. 2847-2858.
14. Vallabani, N.V.S., et al., *Toxicity and health effects of ultrafine particles: Towards an understanding of the relative impacts of different transport modes*. Environ Res, 2023. **231**(Pt 2): p. 116186.
15. Christensen, A.I., et al., *The Danish National Health Survey: Study design, response rate and respondent characteristics in 2010, 2013 and 2017*. Scand J Public Health, 2022. **50**(2): p. 180-188.
16. Tjønneland, A., et al., *Study design, exposure variables, and socioeconomic determinants of participation in Diet, Cancer and Health: a population-based prospective cohort study of 57,053 men and women in Denmark*. Scand J Public Health, 2007. **35**(4): p. 432-41.
17. Petersen, K.E.N., et al., *Cohort profile and representativeness of participants in the Diet, Cancer and Health-Next Generations cohort study*. Eur J Epidemiol, 2022. **37**(1): p. 117-127.
18. Schmidt, M., et al., *The Danish National Patient Registry: a review of content, data quality, and research potential*. Clin Epidemiol, 2015. **7**: p. 449-90.
19. Sorensen, M., et al., *Exposure to source-specific air pollution and risk for type 2 diabetes: a nationwide study covering Denmark*. Int J Epidemiol, 2022.
20. Poulsen, A.H., et al., *Concomitant exposure to air pollution, green space, and noise and risk of stroke: a cohort study from Denmark*. Lancet Reg Health Eur, 2023. **31**: p. 100655.
21. Poulsen, A.H., et al., *Concomitant exposure to air pollution, green space and noise, and risk of myocardial infarction: a cohort study from Denmark*. Eur J Prev Cardiol, 2024. **31**(1): p. 131-141.
22. Poulsen, A.H., et al., *'Source-specific' air pollution and risk of stroke in Denmark*. Int J Epidemiol, 2023. **52**(3): p. 727-737.
23. Sorensen, M., et al., *Air pollution, road traffic noise and lack of greenness and risk of type 2 diabetes: A multi-exposure prospective study covering Denmark*. Environ Int, 2022. **170**: p. 107570.
24. Roswall, N., et al., *Long-Term Exposure to Transportation Noise and Risk of Incident Stroke: A Pooled Study of Nine Scandinavian Cohorts*. Environ Health Perspect, 2021. **129**(10): p. 107002.
25. Pyko, A., et al., *Long-Term Exposure to Transportation Noise and Ischemic Heart Disease: A Pooled Analysis of Nine Scandinavian Cohorts*. Environ Health Perspect, 2023. **131**(1): p. 17003.



26. Aasvang, G.M., et al., *Burden of disease due to transportation noise in the Nordic countries*. Environ Res, 2023. **231**(Pt 1): p. 116077.
27. Sorensen, M., et al., *Long term exposure to road traffic noise and air pollution and risk of infertility in men and women: nationwide Danish cohort study*. BMJ, 2024. **386**: p. e080664.
28. Munzel, T., et al., *The contribution of the exposome to the burden of cardiovascular disease*. Nat Rev Cardiol, 2023. **20**(10): p. 651-669.
29. Poulsen, A.H., et al., *Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise and Risk for Myocardial Infarction and Stroke: A Nationwide Cohort Study*. Environ Health Perspect, 2019. **127**(3): p. 37004.



Tilbud på beregning af bidrag af partikelantal/UFP-koncentrationer fra Københavns Lufthavn til områder på Amager, udarbejdet af Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE).

1. Projektbeskrivelse

Center for Kræftforskning, Kræftens Bekæmpelse (KB) har bedt AU/ENVS om tilbud for beregning af bidrag af partikelantal/UFP-koncentrationer fra Københavns Lufthavn til områder på Amager. Projektet gennemføres som et forskningsprojekt med samarbejde om fælles publikationer.

Metode til emissionsopgørelse / spredningsberegninger er baseret på projekt AU/ENVS har gennemført for Tårnby kommune. Projekt er tæt ved at være afsluttet og slutrapporterne vil blive offentliggjort i november 2024.

Projekt for Tårnby kommune har fokuseret på en detaljeret analyse for året 2023, både med hensyn til emissioner og koncentrationsbidrag.

Det nye projekt med KB har til formål at udvide beregninger til en længere tidsperiode:

Der skal laves beregninger i 5 års intervaller: 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 og 2020 (2023 – er gjort i Tårnby projekt med 250 m opløsning, genberegnes her i projektet med 100m x 100m) – beregning laves for de pågældende år med aktuel meteorologi svarende til det pågældende beregningsår.

Den rumlige fordeling af emissioner fra de enkelte kildegrupper (fly, APU, handling etc.) er baseret på den detaljerede fordeling estimeret med brug af et GIS-model i Tårnbyprojekt. Emissionsfordeling for de enkelte kildegrupper har rumlig opløsning på 5 m x 5 m og svarer til situation for 2023. Denne rumlige fordeling inden for hver kildegruppe (fly, APU, handling etc.) bliver antaget også for de foregående år mens de samlede emissioner bliver skaleret med de aktuelle emissioner.

Beregningsdomæne 10 km x 10 km som dækker over øen Amager, resultater gives med en rumlig opløsning på 100 m x 100 m (kræve en mindre ændring i modelkoden).

Output fra projektet er:

- Emissionsopgørelse for partikelantal/UFP (samt andre stoffer, NO_x, Black Carbon, og PM_{2,5}, som "gratis" kommer med da de ligger i samme database) for Københavns Lufthavn for de nævnte år for flyenes hovedmotorer (inddelt i landing, take-off, taxi), flyenes hjælpemotorer (APU), handlingsudstyr og bremse- og dækslid fra flyenes landinger
- Årsmiddelværdier for partikelantal/UFP kun indeholdende bidrag fra lufthavn for de valgte beregningsår
- Videnskabelig publikation om metoder til beregning af emissioner og model-setup + validering

2. Bemanding og budget

Projekt gennemføres som forskningsprojekt med 44% overhead.

Beskrivelse	Personer / tidsforbrug / pris
Emissionsopgørelse	Morten Winther / 350 timer
OML-Multi beregninger	Anne Sofie Lansø / 250 timer
Projektledelse / koordinering	Matthias Ketzel / 80 timer
Kvalitetssikring	Steen Solvang Jensen / 30 timer
Drift, server, data storage	25.000 DKK
Total pris	600.000 DKK

3. Tidsplan

Vi kan give projektet høj prioritet og sætte projektet i gang efter kontrakten er underskrevet. Under forudsætning at dette er sket inden januar 2025, kan vores data være klar til levering i september 2025, og udkast til publikation senest december 2025.

4. Detaljeret metodebeskrivelse

Detaljeret kortlægning af luftforureningen fra Københavns Lufthavn med fokus på UFP

Københavns Lufthavn er en vigtig kilde til luftforurening, og den har også betydning for luftkvaliteten i næromgivelserne uden for lufthavnen. I det følgende beskrives metoden for beregning af emissioner og koncentrationer af partikelantal / UFP pga. emissioner fra Københavns Lufthavn som følger metoden som DCE har anvendt i tidligere projekter.

Kortlægning af emissionerne

Der er tidligere lavet en undersøgelse af luftforureningen fra Københavns Lufthavn, og hovedresultaterne vil indledningsvis blive opsummeret i kort form i forbindelse med kortlægningen. Det drejer sig om følgende studie: DCE udførte fra 2009 til 2011 en undersøgelse for Københavns Lufthavn A/S af luftkvalitet på forpladsen i Københavns Lufthavn i relation til arbejdsmiljø. Der blev gennemført både målinger og detaljerede modelberegninger ved forpladsen. I forbindelse med undersøgelsen blev det også beregnet, hvor meget emissioner fra flyene på forpladsen, handlingsudstyr, flyenes taxifart til/fra start/landingsbanerne samt take-off og landing betyder for luftkvaliteten i omgivelserne uden for lufthavnen i Tårnby Kommune (Ellermann et al., 2011).

DCE vil gennemføre en ny detaljeret kortlægning af emissionerne fra lufthavnen, og hvordan de påvirker næromgivelserne uden for lufthavnen i Tårnby Kommune. Det vil blive gjort ved at anvende samme metode men med opdaterede data, som i den tidligere gennemførte detaljerede undersøgelse for Københavns Lufthavn. Metode og tidligere resultater er nærmere beskrevet i to DCE-rapporter (Ellermann et al., 2011; Winther et al., 2014). I den tidligere undersøgelse var der et stort fokus på arbejdsmiljøet, men i den nye undersøgelse er fokus på, hvordan lufthavnen påvirker omgivelserne i Tårnby Kommune.

For at kunne udføre modelberegningerne kræves en detaljeret emissionsopgørelse både i tid og sted. Formålet er her at beregne en emissionsopgørelse fordelt i tid og sted for flyenes hovedmotorer og hjælpemotorer (APU: Auxiliary Power Unit) og handlingsudstyr i Københavns Lufthavn, som input til spredningsberegninger til brug for vurdering af luftkvalitet. I den tidligere undersøgelse omfattede emissionsopgørelsen også kørende trafik i lufthavnen til p-pladserne mv. Dette udgjorde meget lidt i emissionsopgørelsen. Endvidere er fokus ikke på forpladsen i lufthavnen, men lufthavnens bidrag til omgivelserne, derfor ses der bort fra bidrag fra den kørende trafik.

Det er ressourcekrævende af indsamle og analysere aktivitetsdata, beregne emissioner, og ikke mindst beskrive dem i tid og sted. Delelementerne i emissionsopgørelsen er beskrevet mere detaljeret i det følgende.

Emissionerne fra flyenes hovedmotorer i lufthavnen

Udgangspunktet for emissionsberegningerne er lufthavnens egne aktivitetsdata for flybevægelser i lufthavnen. Aktivitetsdata indeholder flyregistreringsnr., start/landing angivelse, banenummer, tidspunkt for start/landing på banen, standpladsnr. samt on block/off block tidspunkt ved standplads.

Motortype og emissionsdata for det enkelte flyregistreringsnr. fastlægges ved at finde flyets motortype i en samlet database for den globale flyflåde. Dernæst kan emissionsdata findes (motorbelastning: nedstigning, taxi, start, opstigning) for motortypen i en samlet database for emissioner fra flymotorer. Flyenes bevægelser i tid og sted i lufthavnen beregnes i en GIS-baseret computermodel, der indeholder præcise koordinater for bl.a. standpladser, rulleveje, opstartsmærker for hovedmotorer samt start- og landingsbaner. Modellen bruger antagelser om flyenes ned-/opstigningsvinkel, start/landingshastighed og – punkt, samt foretrukne taxirute på rullevejene mellem standplads og start/landingsbane. Den øjeblikkelige flyemission findes ved at kombinere det enkelte fly's øjeblikkelige position og motorbelastning fra GIS-modellen med emissionerne for flyets motortype ved den konkrete motorbelastning. GIS-modellen er opsat for 2023 og bliver genbrugt for alle årene 1995-2020 da det ville være alt for ressourcekrævende at opstille GIS modeller for hvert beregningsår. Det vurderes at det er en rimelig antagelse da ændringer i lufthavnens operationsmodus ikke har ændret sig graverende. De totale emissioner bliver estimeret ud fra de aktuelle aktivitetsdata i de pågældende år samt tilsvarende emissionsfaktorer.

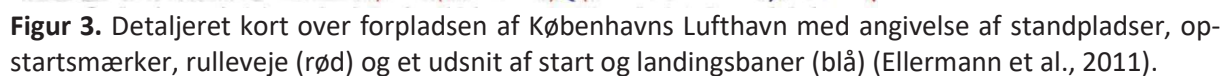
Emissionerne fra APU-motorer i lufthavnen

Ud fra lufthavnens oplysninger om tidsrum for APU-benyttelse i lufthavnen, beregnes emissionerne for APU for de enkelte flyankomster og –afgange ved standpladserne som APU-emissionerne pr. sekund gange tidsrummet for APU-drift. De beregnede emissionsresultater i tid og sted lægges efterfølgende ind i GIS-modellen.

Emissionerne fra handlingssituationen

Handlingssituationen beskrives så detaljeret, at emissionerne kan beregnes som funktion af tid og sted i lufthavnen.

En model for flyhandling ved standpladserne opstilles for forskellige flystørrelseskategorier for hhv. ankomst og afgang. Modellen bruger som input lufthavnens liste over handlingsudstyr samt en beskrivelse af handlingssituationerne mht. anvendt grejtype, brændstoftype, motoralder/eller EU-emissionsstrin, motorstørrelse (kW), motorbelastning (%) og tidsrum med tændt motor (minutter). Handlingssituationerne beskrives med hjælp fra handlingselskaberne i lufthavnen. Push-back traktorernes bevægelse beskrives separat, når de trækker flyene ud fra standplads og frem til mærket for hovedmotorstart. Det antages at traktorerne trækker flyene med 5 km/t, og tidsrummet for brug af push-back traktor afhænger derfor af afstanden mellem standplads og startmærke for den enkelte flyafgang. Emissionerne for et enkelt handlingskøretøj beregnes som produktet af køretøjets specifikke emissionsfaktor (emission pr. s) gange tidsrummet for køretøjets aktivitet (s). Emissionerne beregnes for handlingssituationerne for hver enkelt standplads i tid og sted ved at opsummere emissionsbidragene for de enkelte handlingskøretøjer der bruges i de konkrete handlingssituationer. De beregnede emissionsresultater i tid og sted for årene 1995-2020 lægges efterfølgende ind i GIS modellen fra 2023.



Partikelemissionerne for dæk- og bremseslid ved flylandinger beregnes ud fra massen af afslidt materiale og antagelser om hvor meget af det afslidte materiale, der ender som partikler i den omgivende luft. Data for massen af afslidt materiale pr. flylanding beregnes ud fra slidfaktorer der afhænger af flyenes vægt, og efterfølgende er emissionsfaktorer for PM₁₀, PM_{2,5} og partikelantal (PN) beregnet for de enkelte flytyper.

- Emissioner af partikel antal, PM_{2,5}, BC, og NO_x fordelt i tid og sted på lufthavnens område i 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2023.
- Emissionskilder: flymotorer, APU, og handlingsudstyr + dæk og bremseslid fra fly landinger.
- Tidslig og rumlig opløsning: Emissioner pr. sekund fordelt i et gitternet med en gittercellestørrelse på 5 m x 5 m.

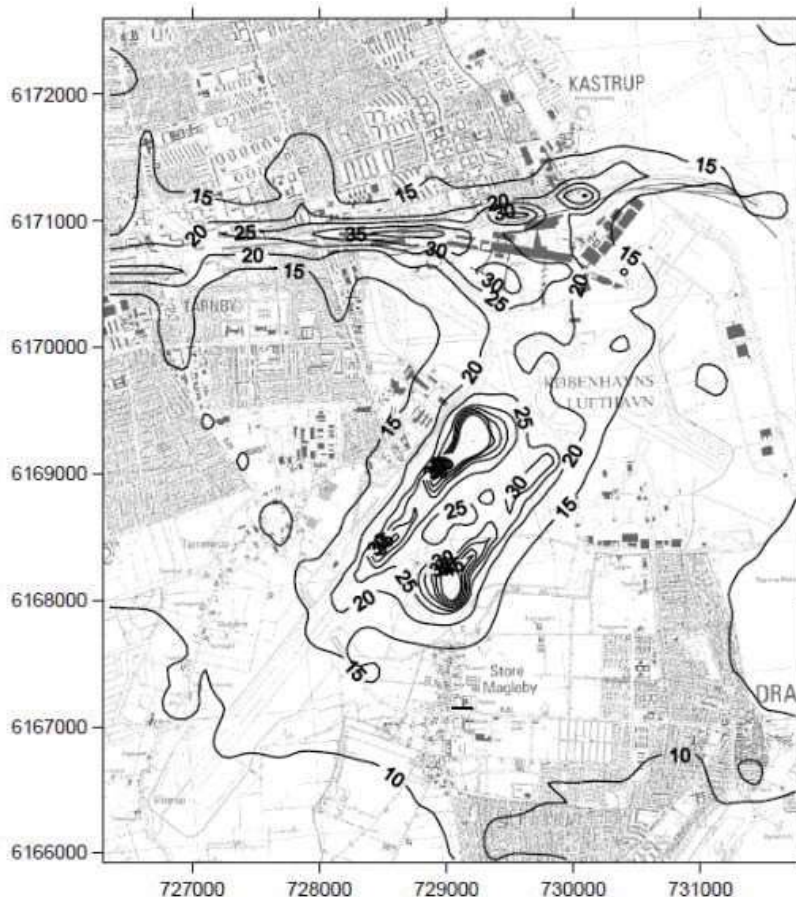
Luftkvalitetsberegninger gennemføres med OML-Multi modellen, som er en lokalskala atmosfærisk sprednings- model udviklet ved DCE. OML-Multi er en Gaussisk røgfanemodel, som beregner spredningen af ikke-reaktive stoffer fra punkt- og arealkilder. OML-Multi drives af meteorologiske parametre for transport og turbulens, overfladens ruhed samt kildedata. Det geografiske område i OML-Multi er fleksibelt, og defineres for den enkelte anvendelse i cirkulære eller rektangulære modelgitre, dog må gitterpunkter ikke ligge længere end 20 km fra kilderne.

OML-Multi anvender emissioner for lufthavnen opgjort for to typiske dage, hvor emissionen hovedsageligt er knyttet til anvendelse af enten bane 22 L+R, eller 04 L+R. For hver dag er emissionen opgjort for hver time i 5 m x 5 m felter. Disse inkluderer også emissioner i højden op til 100 m i forbindelse

med start og landing. Emissionerne er blevet aggregeret til 50 m x 50 m arealkilder i OML-Multi. I højden er de blevet aggregeret per tiende meter. Det er vindretningen for hver enkelt time, der bestemmer hvilken bane, der anvendes, og dermed hvilken emissionsdag, der benyttes som grundlag for beregningerne i den pågældende time.

Meteorologiske parametre skal bruges til at køre OML-Multi modellen. Disse er udtrukket fra vejrmødelen WRF (Skamarock et al., 2008) for alle beregningsår (1995, 2000, 2005, 2004, 2010, 2015, 2020, 2023) for et centralt punkt på Lufthavns område (X_UTM=729500, Y_UTM=6169500). Da den rummelige placering af emissionerne i lufthavnen afhænger af valgt baneretning – enten 04 (Left/Right) eller 22 (Left/Right), og disse afhænger af den faktiske vindretning, er det essentielt, at OML-Multi modellen også anvender de faktiske observerede vindretninger, så emissionerne placeres korrekt. Derfor er vindretning fra målinger ved Kastrup lufthavn benyttet i OML-Multi i stedet for vindretningen fra vejrmødelen WRF.

Ud fra den detaljerede emissionsopgørelse og mikrometeorologi beregnes med OML, hvordan lufthavnen påvirker luftkvaliteten i omgivelserne af lufthavnen. Et eksempel på resultater fra den tidligere undersøgelse er vist i Figur 4, hvor koncentrationsniveauet er vist på lufthavnsområdet og i næromgivelserne til lufthavnen.



Figur 4. Geografisk variation af NO₂ (µg/m³) som årsmiddelværdi i 2010. Beregningspunkter i et gitternet af 150 m x 150 m er anvendt. Iso-kurver er fra 10 til 50 µg/m³ (Ellermann et al., 2011).

Sammenligning af modelresultater og målinger

I forskellige tidligere undersøgelser (målinger langs fire transekter i 2022-2024 for Miljøministeriet, Målinger i projekt i 2023/2024 for Tårnby kommune) blev der gennemført særskilte målinger af UFP i lufthavns omgivelser. Også Lufthavnen foretager rutinemæssigt målinger af UFP-koncentration i

yderkanten af lufthavnsarealet og København kommune måler UPF på Backersvej. Alle disse målinger lægges til grund for sammenligning med modelberegninger for at vurdere usikkerheden på modelberegningerne. Målingerne vil blive anvendt, og sammenligninger vil blive foretaget for UFP og andre stoffer. DCE har tilladelse fra Københavns Lufthavn til at benytte målingerne til sammenligning med modelresultaterne.