

# Dimhöljt

Publik rapport



Författare: Martin Sanfridson  
Datum: 2022-08-24  
Projekt inom: Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary in English.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod.....</b>	<b>5</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>5</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>6</b>
6.1 Projektresultat .....	6
6.1.1 Generering av dimma och miljökrav .....	6
6.1.2 Mätning av dimma och miljökrav .....	8
6.1.3 Genomförbarhet och miljökrav .....	9
6.1.4 Klassificering av väder.....	9
6.2 Relation till projektmålen .....	12
6.3 Relation till FFI:s mål.....	13
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>13</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	13
7.2 Publikationer.....	14
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>14</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>14</b>

## Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi).

# 1 Sammanfattning

Förstudien Dimhöljt har varit ett projektsamarbete mellan RISE och Veoneer från november 2021 till juni 2022, delfinansierat av Vinnova/FFI (2021-02582). Målsättningen med Dimhöljt har varit att förstå möjligheter och begränsningar i att tillverka, karaktärisera och använda dimma för lidarsensorer. Lidar ses av många som en möjliggörare för självkörande fordon och i en nära framtid när priset sjunker än mer, kan lidar även vara ett starkt tillskott till förarstödsystem (ADAS) av olika slag. För fordon automatiserade till högre SAE nivåer (ADS) är det övergripande målet att perceptionen ska bidra till att fordonen kör tillräckligt ansvarsfullt. Det är välkänt att dimma är en störning som påverkar det utskickade laserljuset som är grunden för en lidar och av intresse är att identifiera begränsningen av prestanda för att hantera störningens inverkan på automationen.

Projektdeltagarna har hållit möten varannan vecka för att planera och stämna av framfarten av följande aktiviteter: Ett exjobbprojekt har genomförts i Veoneers regi; vi satt ihop mätutrustning för karaktärisering av dimma; vi har provat på fyra olika metoder att generera dimma; och vi har kört klimatkammare på RISE för att experimentera och testa en lidar-sensor från Veoneer.

För en lidarskanner är syftet primärt att mäta omgivningens geometri där vatten i olika former kan ses som störningar. Eftersom molekyler absorberar och emitterar ljus vid bestämda våglängder används lidar ofta för att spektroskopiska mätningar av miljö för att t ex bestämma koncentration. Klassificering av väder med lidarskanner är ett intressant besparande dubbelutnyttjande av en sensor. Från mätningar med lidar utomhus och registrering av aktuellt väder med en väderstation, har i projektets exjobb gjorts en statistisk ansats och en ansats baserad på maskininläring. Experimenten har gjorts mot ett stationärt mål; analysen är ett första försök, och påvisar ändå att det med angiven konfidens går att uttala sig om det regnar, är dimmigt eller klart väder.

Under förstudien har vi framgångsrikt experimenterat med fyra olika instrument för mätning av dimmans egenskaper, närmare bestämt mängd flytande vatten, sikt, kontrast, dropstorlek och fördelning. Mätningarna stämmer bra överens med varandra och med en teoretisk ansats. Vi har i huvudsak använt tillgänglig utrustning för att begränsa kostnader. Mätutrustning för aerosoler har varit baserad på labbinstrument. Det finns fördelar och nackdelar med val av metoder och instrument men slutsatsen är att fortsätta på inslagen linje.

För framtida bruk behöver vi effektivisera datainsamlingen så det går att avläsa i realtid. Utrustningen för generering av våta aerosoler behöver designas så att det tillåter flexibel placering i en lokal som i är lämplig dimgenerering och i för huvudsyftet. När det gäller klassificering av väder finns det idéer om att utveckla metoden och komma över begränsningen att ett specifikt objekt som referens. Det behövs också en längre/större lokal att utföra tester i.

# 2 Executive summary in English

The Dimhöljt pre-study project has been a cooperation between RISE and Veoneer running from November 2021 to June 2022 partly funded by Vinnova/FFI (2021-02582). The project have had meetings every second week. In one thread of the project we have analyzed weather data and in another thread we have taken our first steps to learn how to generate and measure fog. The two threads have met in a climate chamber to compare methods of calculating the damping with a lidar.

Lidars are by many people in the industry seen as enablers for autonomous vehicles complementing vision and radar in the on-board perception to interpret the surrounding static and dynamics objects. The technology development is driven along the lines of increased range, increased number of points, dynamical control of areas to direct points, reduced dimension for packaging. With the expected continued fall in price with approaching volume production, lidars will find a broader usage.

A well-known problem with lidar is a high attenuation in foggy conditions. The so called extinction coefficient, the damping of the light pulse, is proportional to the aggregated amount of water in drops and inversely proportional to the effective size of the drops. Compared to rain, typical fog drop size is about three orders of magnitude smaller even though the relative amount of liquid water is lower. A precipitation rate, in units of mm/h, needs to be excessively high to substantially reduce visibility for lidars. For fog and rain, a common severity measure for the air between sensor and object and back, could be based on the quotient between liquid water content and effective drop size.

The top goal is to guarantee that perception can handle adverse weather such that an autonomous vehicle can be guaranteed to drive sufficiently safe. A straight forward handling of adverse weather is first to detect it, and second to, as much as possible, remove the impact of the disturbance and third, to communicate the decrease of ability such that the trajectory planner (or similar feature) can negotiate vehicle speed (or similar actuation). Besides communicating capabilities between perception and path planning, there is also a need to document limits to stakeholders (aka ODD – operational design domain), as for example drivers, vehicle owners and authorities.

The purpose with the pre-study in more detail have been to 1) learn how to generate fog in a climate chamber, 2) learn how to measure the important characteristics of the fog, 3) understand how the fog can become stable, 4) understand environment prerequisites for generating fog and 5) understand the suitability of testing lidars in climate chambers with their limitations and requirements.

The project has experimented with four ways of generating fog. First, a high pressure water system with nozzles, second an ultrasonic humidifier, third condensation of water vapor and last high pressure air nozzles to atomize water. The last method became our best choice.

Measurements of contrast, liquid water content, visibility, effective drop size were done using available lab equipment and proved to work quite well. The choice of instruments depends also on the shape of the location of the fog and possible interference with other light sources.

Weather classification based on outdoor measurements was carried out by a master thesis worker. Outdoor data from July to November was collected from a lidar unit by Veoneer and from a weather station from Vaisala. Classification based on principal component analysis, PCA, and straight forward neural networks showed that it is possible to separate classes reasonably well. An assumption is however that there is a well-known surface such that all variations except atmospheric can be excluded.

Experiments in a 20 meter long climate chamber at RISE were carried out. Typically, the temperature was held a few degrees above freezing point and with a highest relative humidity. Water was injected at the start of each experiment which formed a dense fog. The temperature always increased which made the fog dissolve itself. The instability of the fog is, depending on requirements, prohibitive if other slow dynamics need to be tested, but not a constraint for the lidar unit itself since the sampling duration is short compared to the dominant time constant of the fog dissolving.

The measurement by the lidar in a climate chamber of sufficient size for the lidar under test, showed a good correspondence between different measured properties of the fog. The aims of the project have been fulfilled. The project has contributed to building knowledge in the area of adverse weather.

In the future, there are more to explore both in the area of providing fog as a tool, but also how to handle fog from a perception and trajectory planning viewpoint. The current aim is to have a cost effective way to offer fog environment for sensor and perception testing. Besides design improvements to handle fog by the perception (and including path planning), there will always be a need to verify operating limits with respect to this measurable disturbance.

### 3 Bakgrund

Lidarsensorer är en möjliggörare för självkörande fordon och avancerat förarstöd men måste, av tillgänglighetsskäl för att undvika återgång till manuell backup, fungera tillräckligt väl i olika väder med nedsatt sikt som till exempel dimma. Lidarsensorer väntas få ett genombrott med utveckling av självkörande fordon. En trendmässig nedjustering av inköpskostnad kommer med största sannolikhet att bredda användningsområdet till aktiva körstödssystem. Den tekniska utvecklingen är snabb och på Veoneer strävar man både efter att öka spatiala tätheten i synfältet och räckvidden.

Lidar används ofta tillsammans med andra sensorer som har andra styrkor och svagheter. Punktmoln från lidar kompletterar Veoneers radar och kameror samt leder till bättre detektion av statiska och dynamiska objekt. I Dimhöljt-projektet har vi inriktat oss på dimma, som är en viktig väderrelaterad störning tillsammans med regn, road spray och snö. Det finns ett nationellt och internationellt intresse<sup>1</sup> att undersöka egenskaper vid "adverse weather". Anledningarna till detta är bland annat att förbättra själva sensorn, att modellera väderstörningar för verifikation och validering av perceptionssystem, eller att förbättra prestandan på t ex filtrering och maskininlärning.

En ur säkerhetssynpunkt särskilt värdefull egenskap är att veta när en sensor har nersatt förmåga och ta hänsyn till detta i perceptionen framförallt för att anpassa fordonets hastighet. För ett självkörande fordon karaktäriseras populärt omgivande faktorer på så sätt att man alltid ska vara innanför en viss "operational design domain", ODD. I denna specifikation kvantifieras relationer mellan omgivningens egenskaper – t ex dimma – och fordonets förmåga.

### 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Arbetsmetoden i projektet är att läsa på, experimentera och utvärdera användbarhet. Typiska frågor är hur bygga upp verktyget att skapa adekvat dimma-störning till mer forskningsfrågor hur perception och säkerhet kan stärkas. De förnämnda är i fokus, medan de sistnämnda ligger utanför aktuell förstudie och får anstå till framtida forskningsprojekt. Hur mäter vi storlek på droppar, har sättet att generera dimma tillräckligt hög kapacitet, kan man klara sig med ett mindre utrymme för testning, kan man använda lidar för att klassificera väder, hur mäter man mängden störning och hanterar denna med fallback eller filtrering, hur beskriver man gränser i ODD, etc.

Aktiviteter i projektet:

- Ihopbyggande av testutrustning: partikelfördelning, sikt, liquid water content. Utfördes under 22Q1.
- Test av fyra olika metoder för dimgenerering har utförts
- Test av kommersiell partikelmätare
- Testning i klimatkammare har utförts vid 4-5 tillfällen.
- Projektmöten varannan vecka under hela våren 2022.
- Ett exjobb med material från både väderstation och klimatkammare har jämfört data
- Veoneer besökte klimatkammare för test av lidar, en gemensam aktivitet påsken 2022
- Ett presentationsmaterial har tagits fram

### 5 Mål

Syftet med förstudien Dimhöljt var att förstå möjligheter och begränsningar kring att generera dimma i olika miljöer samt utvärdera hur dimman kan användas för att testa lidar-sensorer. Mer specifikt har målen varit att

1. Lära oss om ett bra sätt att generera dimma i befintlig klimatkammare för att uppnå eller bibehålla önskad "kvalitet".

<sup>1</sup> M. Colomb et al., "D2.1 Characteristics of Adverse Weather Conditions", DENSE, ECSEL project, 2017-01-27

2. Bestämma och utvärdera en praktisk metodologi för mätning och vilka mätinstrument som är nödvändiga.
3. Fastslå att genererad dimma är stabil över tid så att mätningar kan utföras under timmar snarare än minuter; och repeterbar så att likartade förhållanden kan återskapas.
4. Bestämma miljökraven för att skapa dimma i andra typer av lokaler.
5. Fastslå tillämpligheten att testa lidarsystem och dimma i klimatkammaren med begränsningar och krav.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

Först kommer en redovisning av tekniska resultat från projektet. Därefter följer ett avsnitt som återkopplar till projektmålen och slutligen ett avsnitt med återkoppling till FFI:s mål.

### 6.1 Projekresultat

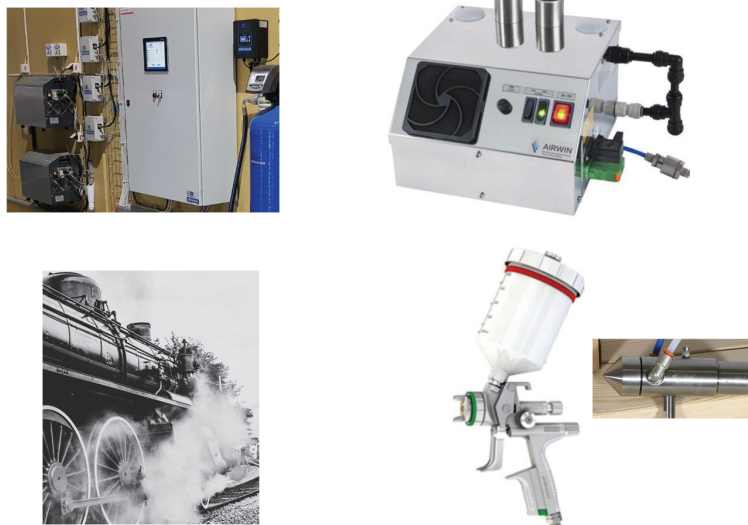
#### 6.1.1 Generering av dimma och miljökrav

Följande apparater har använts för att lära generera dimma, se Figur 1 för illustrationer.

- Högtryckssystem med vatten från SIBE Swed-Fog med kapacitet på mer än 25 kg/h. Munstyckena är små nipplar placerade på högtrycksslangar. För att systemet inte ska sätta igen kan ett försteg med rening krävas. Dock behövs knappast ett kontinuerligt system som visas på bilden. Droppstorleksfördelning är trolig för naturlig dimma och det går att konstruera ett system med olika fasta dysor för varierad droppstorlek.
- Ultraljud för att finfördela vatten. Vi har provat en Ultrasonic humidifier UB-2 från företaget Boga i klimatkammare. Den har en kapacitet på 1 kg/h, men spridningen i rummet var dålig, och eftersom effekten är relativt låg behöver man sannolikt många enheter för en önskvärd storlek på lokal.
- Kondensering av ånga. Test har gjorts med injektion av ånga från central ångpanna in till klimatkammare. Normal används ångan för att befukta klimatkammaren, men ökar man mängden ånga kondenserar den till dimma. En stor nackdel med denna metod är att man för in en ny värmemängd i systemet, vilket ökar temperaturen, vilket i sin tur underlättar att dimman avdunstar till en luft-ånga blandning.
- Att slå sönder vatten med hjälp av tryckluft är ett attraktivt alternativ. Tryckluft kan man ha tillgängligt mobilt. Dysorna kan vara designade fixa eller varierbara vad gäller vätskeflöde, lufttryck och formen på utrusande dimman omedelbart framför. Vi har i förstudien testat två olika
  - Färgspruta från företaget Sagola, med en kapacitet på 50 kg/h. En fördel är att den är mycket portabel, så man kan gå från ena änden av klimatkammaren till andra.
  - Ett fast munstycke från SIBE Swed-Fog<sup>2</sup>, som används för befuktning i labb och produktion. Kapaciteten var betydligt lägre än färgsprutan och just denna version gav lite för stora droppar och uppströms reglersystem med tryckluft var inte helt tillfredsställande.

---

<sup>2</sup> [www.sibe.se](http://www.sibe.se)



Figur 1 Fyra olika sätt att generera dimma. Översta raden, vänster: trycksatt vatten i en installation på RISE. Översta raden, höger: ultraljud används för att slå sönder vatten. Nedersta raden, vänster: kondensering av ånga gjordes i klimatkammare på RISE (en ångpanna användes förstås, men inte den i bilden). Nedersta raden höger: vatten och tryckluft, ett par olika dysor som använts i projektet.

Två till tre deciliter vatten är mer än tillräckligt för att få en onaturligt tät dimma även i en 20 m lång klimatkammare. Det är tio gånger mer vatten i gasform löst i luften trots en temperatur på ett fåtal plusgrader. En anledning till att ha låg temperatur är att massmängden vatten i gasform för att åstadkomma 100% luftfuktighet är lägre, vilket kan utläsas ur ett Mollier-diagram för fuktig luft.

Typiskt vill man åstadkomma en homogen dimma mellan sensor och mätobjekt under test. Ett sätt att montera en tillräckligt stor mängd dysor och prova ut deras placering. Det är också möjligt till viss del att fläktas dimman om inte dysorna ger en tillräcklig rörelse i rummet. Det är också möjligt att flytta en dysa runt i rummet och på så vis undvika en statisk eller fast installation med många likadana komponenter. Hur väl man lyckas fördela dimman har också betydelse för behovet av mätning: en homogent fördelad och utprovad dimma kräver antagligen färre mätpunkter.

För att få en långsam upplösning behövs en relativ luftfuktighet på runt 100%, gärna en låg temperatur men över fryspunkten, ett skydd mot utväxling av värme med omgivningen t ex genom strålning, och ett omgivande skydd mot ofrivillig förflyttning av luftmassa. Dessa krav motsvarar typiskt nog förhållanden när dimma bildas i naturen. En slutsats av detta är att generera dimma utomhus i Sverige är opraktiskt eller ogörligt de flesta timmarna under ett år. En anledning till att institutioner som JARI<sup>3</sup>, Cerema<sup>4</sup> och CARISSMA<sup>5</sup> har både dimma och regn inomhus beror troligen på att dimman kräver inomhusmiljö. En annan anledning är att dimma också kan genereras i en kontinuerlig process där man inte beaktar hur den löses upp. En inomhusmiljö gör det också möjligt att få kontroll på belysningen på bekväm dagtid; belysningens komposition är central för ett vision-baserat system men inte i samma utsträckning för en lidar.

<sup>3</sup> <https://www.jari.or.jp/en/>

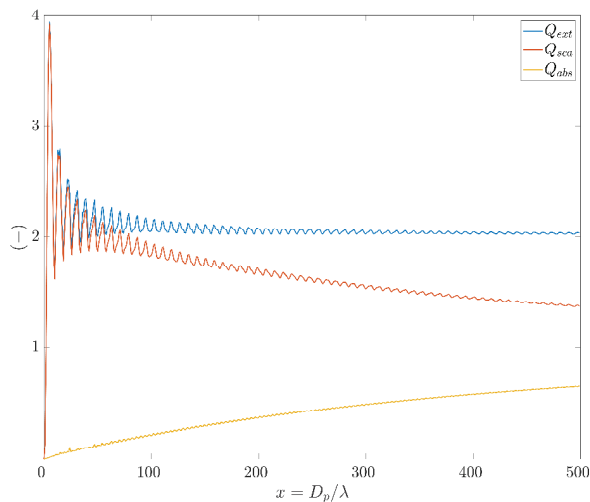
<sup>4</sup> <https://www.cerema.fr/en/innovation-recherche/innovation/offres-technologie/simulation-platform-adverse-climate-conditions>

<sup>5</sup> <https://www.thi.de/forschung/carissma/>

## 6.1.2 Mätning av dimma och miljökrav

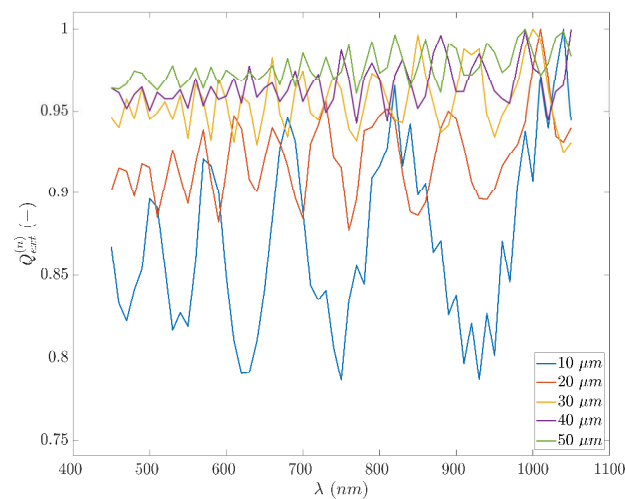
Ljusextinktion från en halogenlampa mäts spektralupplöst med hjälp av en diffraktionsgitterspektrometer kopplad till en detektor genom en optisk fiber. Dämpningen av intensitet är relationen mellan initialt och momentant värde,  $I_i/I_t$ . Följande stycke beskriver kortfattat hur mätningarna används för att beräkna partikelstorleksfördelning och koncentration för aerosolen.

Om man löser Mie ekvationer för sfäriska partiklar kan man notera att den spektrala dämpningen av ljuset är beroende av partikelstorlek, se Figur 2.



Figur 2  $Q_{ext}$ ,  $Q_{abs}$  och  $Q_{sca}$  beräknad för vattenpartiklar av olika storlek och för olika våglängder.

Genom att använda relationen mellan våglängd och partikelstorlek kan man beräkna extinktion som funktion av våglängd för t ex fem partiklar av olika storlek. Fördelning av droppstorlek påverkas av övrigt ljus och kräver därför ett utrymme utan andra ljuskällor (halogenlampan som enda ljuskälla).



Figur 3 Relationen mellan våglängd och partikelstorlek under ljusextinktion för fem partiklar av olika storlek.



I Figur 3 kan man se att lutning på kurvorna (och deras medelvärde) är beroende av partikelstorlek och den informationen kan användas för att identifiera partikelstorlek. Givet denna information, kan man därefter beräkna koncentration av aerosolen med hjälp av Beer-Lamberts lag.

Extinktion av partiklar,  $Q_{ext}$ , orsakas av den kombinerade effekten av spridning,  $Q_{sca}$ , och absorption,  $Q_{abs}$ , som visas i Eq. 1 och Eq. 2, där  $\sigma_i$  och  $D_p$  är träffyta och projicerade partikelytan.

$$Q_{ext} = Q_{sca} + Q_{abs} \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{2\sigma_i}{\pi D_p^2}, i = \{sca, abs\} \quad (2)$$

Extinktionen kvantifieras med hjälp av Eq. 3, där  $N_{dr}$  är antal partiklar i strålens väg,  $y_{dr}$ , mellan halogenlampa och spektrometer, och  $\sigma_{ph}^{dr}$  är träffyta där storleksfördelning antas vara känd.

$$\frac{I_i}{I_t}(y, \lambda) = e^{-N_{dr} y_{dr} \sigma_{ph}^{dr}} \quad (3)$$

$$\sigma_{ph}^{dr} = \frac{1}{\rho_{dist}} \int_{D_0}^{D_i} \sigma_i dD \quad (4)$$

**Kontrast** har beräknats kontinuerligt genom att fotografera en skärm med schackrutemönster i vitt och svart, en filmkamera och en lampa som belyste skärmen. I efterföljande bildbehandling har kontrasten längst alla rutgränser uppmätts. Kontrastförändringar beräknades enligt nedanstående ekvation

$$K_{rel_t}(x, y) = \frac{\max(I_t(x: x + \delta x, y: y + \delta y)) - \min(I_t(x: x + \delta x, y: y + \delta y))}{\max(I_t(x: x + \delta x, y: y + \delta y)) + \min(I_t(x: x + \delta x, y: y + \delta y))}$$

Där  $I_t(\cdot)$  betecknar intensiteten för olika områden i bildmatrisen. Fördelningen av dimma i rummet är en viktig aspekt, eller åtminstone fördelningen där föremålen för mätning är placerade. För att säkerställa denna vill man mäta på flera ställen, längs en linje eller i bästa fall en volym. Här är det fråga om vilka mättekniker som finns tillgängliga eller vilka mätinstrument som finns tillgängliga. Många instrument mäter i en punkt och för att täcka ett större rum måste man flytta instrumentet eller acceptera kostnaden att ha flera stycken.

### 6.1.3 Genomförbarhet och miljökrav

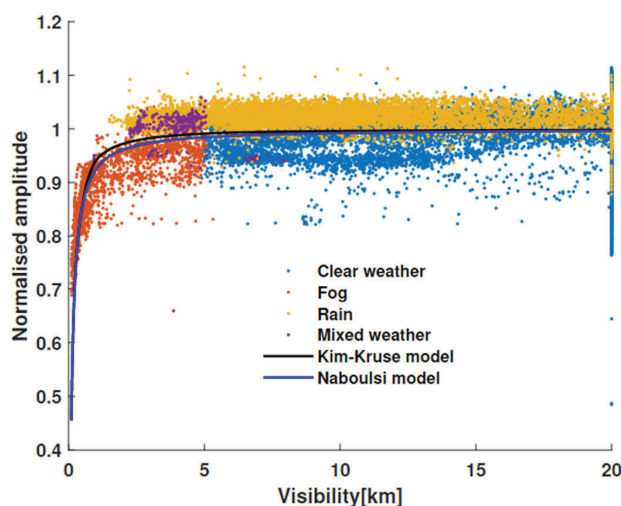
En möjlig ansats är att generera dimma en gång (eller upprepat med periodtid på åtminstone tiotals minuter) och eventuellt få en långsam upplösning på grund av temperaturökning. Alternativet är att generera ny dimma kontinuerligt. Vilket sätt som är önskvärt beror på vad som ska testas. Det som hittills har framkommit är att önskvärda testförhållanden är mer av batch-karaktär en kontinuerlig drift. Man skulle dock kunna tänka sig fall där kontinuerlig dimma är intressant eftersom man har ett annat system som tar längre tid på sig, t ex en person (förare) under test, eller ett annat system som kontinuerligt varierar som en del av testet. Här behövs en mer uttömmande belysning av användarkrav.

### 6.1.4 Klassificering av väder

Målsättningen är att använda en lidar för att klassificera väder. Mätningar gjorda utomhus under fyra höstmånader har använts, tyvärr utan att få med snö. Även mätdata från klimatkammare har använts som komplement. Klassificering av väder utomhus är baserat på en väderstation från Vaisala<sup>6</sup>. Både utomhus och inomhus användes en lidar riktad mot en tavla ett antal meter bort. Amplituden på signalen när den träffar tavlan säger något om hur mycket som försvunnit pga dämpningen mellan lidar och tavla inklusive retur.

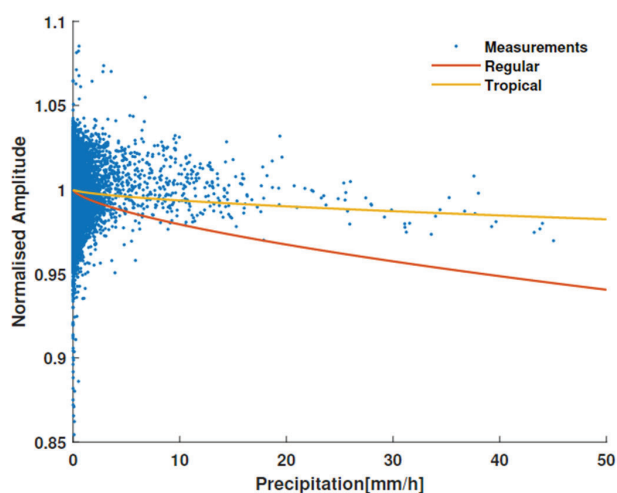
<sup>6</sup> [www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)

Två ofta refererade modeller som beskriver förhållandet mellan "extinction coefficient" och "visibility" är Kim-Kruse och Naboulsi. Klassificeringen och modellerna är plottade i Figur 4. Det finns en viss överensstämmelse, men också mycket brus och för regn även en systematisk felkattning. För dimma är överensstämmelsen för kort sikt relativt god.



Figur 4 Amplitud för lidar jämfört med två ofta refererade empiriska modeller för "visibility" och "extinction".

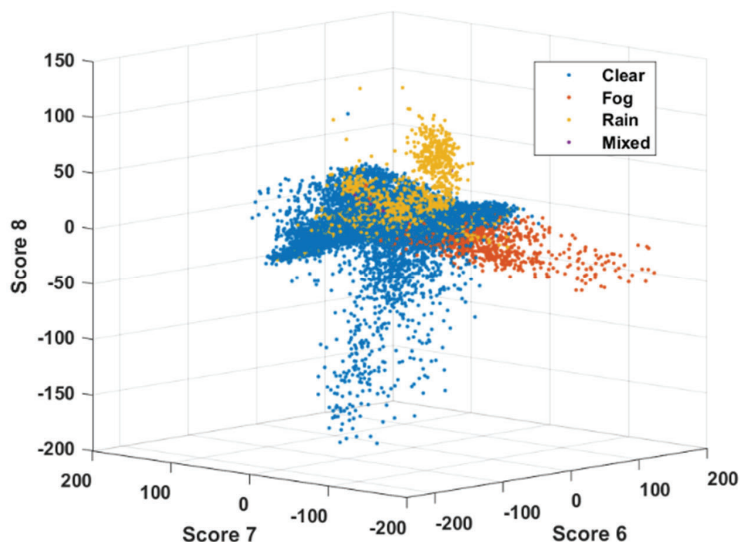
Regn däremot, tycks inte påverka amplituden nämnvärt. Det är också intressant att i Figur 5 jämföra amplitud på lidar med nederbörds mängd per tidsenhet, som är det mått på intensitet som rapporteras av väderlekstjänster. Här är modellen baserad på teori för partiklars påverkan på elektromagnetiska vågor. En slutsats är att lidarn inte påverkas mycket av mängden regn, även om det regnar mer än "måttliga eller starka regnskurar" (SMHI:s beskrivning av upp till 10 mm/h). Det är rimligt att anta att regn i luften är ett hanterbart problem för lidar monterade på fordon, däremot skapar regn också lokala effekter på lidarns väderskydd och på iakttaget objekt.



Figur 5 Amplitud för lidar jämfört med nederbörds mängd uppvisar på en svag korrelation med modellen.

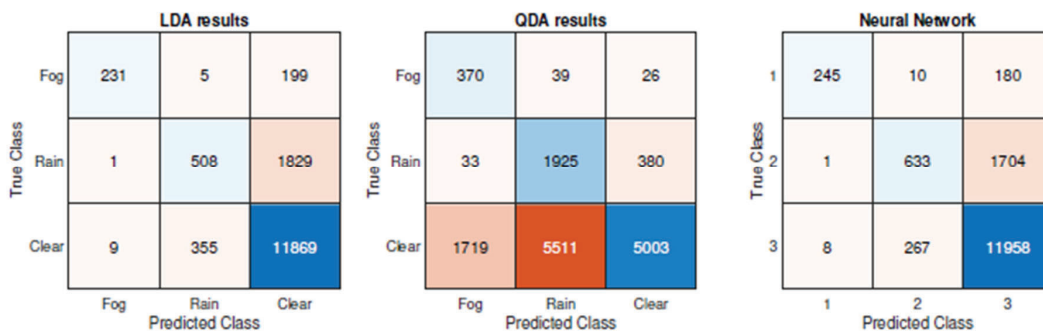
Uppgiften är att klassificera väder med hjälp av lidar. Ett par olika metoder har provats, och här redovisas mest den som är baserad på PCA, principal component analysis, men en ansats med neurala nätverk har också gjorts. Kortfattat är PCA ett sätt att reducera data genom att orientera efter mest förklarande egenvektorer (20 bedömdes vara tillräckligt många). Två olika

klassificerare har jämförts: QDA och LDA (quadratic resp. linear discrimination analysis). Klasserna är "klart väder", "dimma" och "regn".



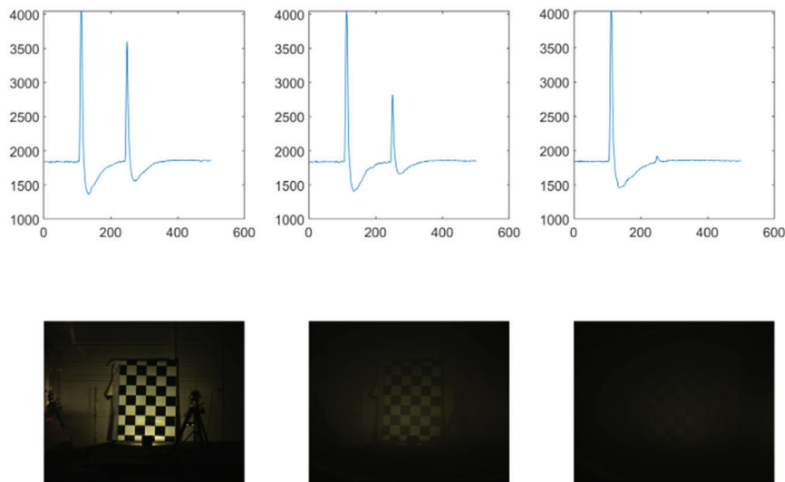
Figur 6 Visuell förståelse att åtminstone några PCA dimensioner är hyfsade på att separera klasser

Via "confusion matrices" har relevansmåten "precision" P och "sensitivity" S (även kallad "recall") tagits fram, medan "accuracy" är mindre användbart eftersom en av klasserna "klart väder" dominerar i mängd. Sensitivity (TP dividerat med summan av TP och FN) för LDA för dimma är 96 +/-2 procent, se Davids exjobb i kapitel 7.2 för mer resultat och en diskussion.



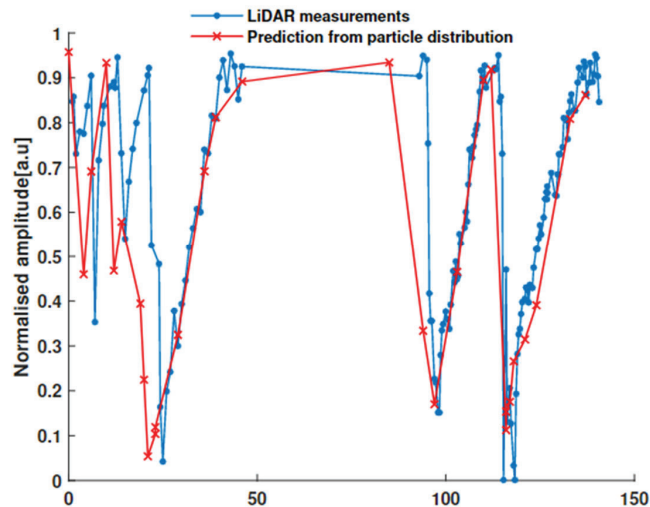
Figur 7 "Confusion matrices" där klassen "Clear" dominerar, dock inte på samma sätt för QDA.

Över till mätningar i kammare. Mätningarna med lidar i kammare överensstämmer väl med teorin baserad på Mie.



Figur 8 Lidarns amplitud mot upplevd sikt av den schackrutiga kontrasttavlan.

Figur 8 visar hur en puls av lidarn reflekteras allt mindre mot objektet när mängden dimma ökar. Notera höjden på den andra toppen i varje graf. Den schackrutiga tavlan är belyst nerifrån på en meters avstånd. I Figur 9 plottas amplituden mot dämpning beräknad på dimmans estimerade effektiva droppstorlek och LWC.



Figur 9 Jämförelse mellan mätningar med lidar och dämpning baserat på mätning av dimmans egenskaper. Abscissan är tiden för experimenten och har enheten minuter.

## 6.2 Relation till projektmålen

Av de ursprungliga ovanstående målen med projektet, uppräknade i kapitel 5, har vi kommit framåt på alla punkter. Före projektets start hade vi inga praktiska erfarenheter av att generera dimma. På RISE finns emellertid mycket kunskap om att generera vattendimma för brandbekämpning. En stor skillnad är att denna typ av dimma har mycket en till två tiopotenser större droppar som kan inte svävar fritt i luften. Med ökad praktisk erfarenhet är det av intresse att se hur andra har valt att göra.

Mätning av sikt och partiklar har också andra förutsättningar än vattendimma för brandbekämpning eller för spray: partiklarna är mindre och rör sig mindre i tyngdkraftsfältet. Att införskaffa kommersiell siktmätare och partikelmätare var inte ekonomiskt möjligt utan hela idén har varit att sätta upp egna labbinstrument. En fördel är att området vi mäter dimma på kan göras större vilket delvis beror på valet av metod. Mätningarna som utfördes i förstudien var inte automatiserade utan krävde mycket handpåläggning i efterhand.

Det är ett antagande under punkt tre som inte har hållit i klimatkammare. En mycket liten ökning av temperaturen räcker för att lösa upp den genererade dimman och det har inte varit möjligt att få dimman stabil under en längre tid. Dock är detta inte ett jättestort problem: man kan låta dimman lösas upp och därefter fylla på igen – dimman blir periodiskt repeterbar. En mätning med lidar-sensor går i allmänhet så snabbt att dimman kan antas vara stabil under denna tid. Faktum är att det kan vara en fördel med periodiskt varierande dimma, beroende på vad man vill testa.

Miljökraven för att testa i en godtycklig lokal är upptecknade men ännu inte verifierade. Miljökraven är delvis kopplat till sättet att generera dimma.

Till sist är en klimatkammare på 21 m generellt alldeles för kort. Generellt sätt är det svårt att uppfylla avståndskravet. Olika sätt att komma runt längdkravet har diskuterats. Slutsatsen är att man behöver hitta eller bygga en lokal som är längre och uppfyller miljökraven. Ett problem är att göra detta på ett kostnadseffektivt sätt given mängden efterfrågade mätningar årligen. Den lidar från Veoneer som användes i klimatkammaren var designad för korta avstånd och sikten var förhållandevis kort vilket gjorde att klimatkammaren räckte till för det experiment som utfördes.

### 6.3 Relation till FFI:s mål

Förstudien är relevant för delprogrammet Trafiksäkerhet och automatiserade fordon med en inriktning på noll-visionen och ökad automatisering av transport. Att förstå begränsningar hos sensorer i syfte att förbättra perceptionen både höjer trafiksäkerheten och breddar möjligheten till automation även under svårare yttre omständigheter. Att bygga upp en testmiljö för komponenter och subsystem till aktiva säkerhetssystem kan hjälpa till att stärka svensk fordonsindustrins konkurrenskraft. En testmiljön måste vidareutvecklas med kostnadseffektiv och praktisk lokal och instrumentering. Resultaten är relevanta för körning på avgränsade områden och i trafik. Resultaten är också relevanta för utrustning monterad på fordon och för stationärt placerad "road-side unit" för t ex trafikövervakning, de är relevanta för automatisk körning, för aktiva säkerhetssystem och för fjärropererade system.

## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Generering av väl specificerad och repetitiv dimma är ett verktyg för avancerade utvecklingsprojekt som syftar till att förbättra perception under förhållanden med denna störning. Detta gäller både tillverkare och integratörer.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Efterfrågan på test av sensorer som ska integreras i produkter, eller test av perceptionssystem under besvärliga förhållanden kommer att finnas

Introduceras på marknaden	X	En idé inom RISE är bygga upp kunskap och testmiljö för att erbjuda tester enligt kunders önskemål
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	X	En plan är att i framtiden jobba med hur ODD bör formuleras avseende dimma, som är adekvat även för lidar-sensorer.

## 7.2 Publikationer

Projektet har resulterat i ett exjobb:

David Blagojevic, "Weather effects on short-range LiDAR and their classification", Master Thesis, Department of physics, Umeå University, August 2022.

Det finns också en intern presentation av projektresultaten som komplement till denna rapport.

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Förstudien dimhöljt har varit ett framgångsrikt litet projekt. Vi har uppfyllt de viktigaste målsättningarna och uppnått en större förståelse, om än inte på långa vägar uttömmande, för begränsningar och möjligheter kring hur dimma kan genereras och karakteriseras. Vi förstår nu bättre hur ett verktyg som erbjuder dimma som störning i en testmiljö, bör utformas på ett kostnadseffektivt sätt. Ett sådant verktyg måste passa den svenska marknaden för testning både för design och för verifiering.

För att ta ett steg längre har ett nytt projektförslag nyligen formulerats, där ytterligare parter ingår. Målsättningarna med det nya projektförslaget är att utveckla krav och metoder för hur test i dimma ska utföras, att hitta kostnadseffektiva lokaler för framtiden och att förfina och automatisera karakteriseringen och göra generering av dimma mer flexibel och anpassningsbar till lokalens förhållanden. Med ett bättre verktyg för dimma är en självklar ytterligare målsättning är att studera hur dimma kan hanteras i automatiserad körning. Främst gäller det att upptäcka, klassificera, prediktera, kompensera och situationsanpassa för att garantera säkerhet. Möjliga forskningsfrågor är t ex hur ODD formuleras, hur väl kan man estimeras dimma från den egna lidar-sensorn, om man kan ge ett konfidensintervall på estimatet, och vilket som är det bästa sättet att minska dimmans påverkan.

Det har nyligen startats upp ett förarbete under benämningen ISO 13228 kring standardisering av hur prestanda för lidar i fordonsindustrin ska utvärderas. Kopplingen till olika typer av störningar orsakat av olika former av vatten kommer att bli av intresse.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Företag	Namn	Kontaktuppgifter
RISE	Martin Sanfridson	A punkt B at RI punkt SE
Veoneer	Emil Hällstig	A punkt B utan trema at VEONEER punkt COM