

# **Sisteme de creștere a siguranței traficului rutier în condiții meteo ce alterează vizibilitatea – cercetări și soluții**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul Ingineria Sistemelor  
de către

**ing. Răzvan-Cătălin MICLEA**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing Ioan SILEA

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 9. Inginerie Mecanică                      |
| 2. Chimie                                   | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 3. Energetică                               | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 4. Ingineria Chimică                        | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 13. Inginerie energetică                   |
| 6. Inginerie Electrică                      | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor                 |
| 8. Inginerie Industrială                    | 16. Inginerie și Management                |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2013

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
Tel./fax 0256 403823  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Automatică și Informatică Aplicată al Universității Politehnica Timișoara. Perioada de desfășurare a programului doctoral a fost Octombrie 2015 – Septembrie 2020.

Doresc să adresez mulțumiri deosebite conducătorului meu de doctorat, prof.dr.ing. Ioan SILEA. Am avut onoarea ca programul meu de doctorat să se desfășoare sub conducerea unui distins Profesor și minunat Om, care m-a îndrumat cu răbdare, înțelegere și sfaturi înțelepte în toată această perioadă plină de provocări dar și multe satisfacții. Pot spune ca acești cinci ani, mai presus de faptul că m-au format ca și cercetător, m-au ajutat enorm la formarea mea ca și om, mai presus de înțelegerea unor concepte tehnice, m-au ajutat la înțelegerea lucrurilor importante din viață, iar pentru aceasta îi mulțumesc încă o data domnului Profesor.

Mulțumesc domnului prof.dr.ing. Florin ALEXA - decanul Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale - alături de care am continuat colaborarea începută din timpul ciclului de licență și a fost mereu un punct de sprijin pentru mine, prin sfaturile sale și baza materială pusă la dispoziție.

Mulțumesc domnului șl.dr.ing. Ciprian Dughir pentru amabilitate și răbdare, pentru ideile, baza materială pusă la dispoziție și disponibilitate, fiindu-mi alături în multe dintre experimentele realizate în laborator.

Mulțumesc colectivului domnului conf.dr.ing. Aurel RADUȚĂ din departamentul de Ingineria Materialelor și Fabricației (Facultatea de Mecanică) pentru ajutorul acordat în realizarea unor experimente extrem de importante pentru cercetare.

Mulțumesc colegilor din cadrul UPT, drd.ing. Florin ȘANDRU și ing. Vlad UNGUREANU, pentru suportul acordat în cadrul experimentelor și simulărilor realizate.

Mulțumesc colegilor și prietenilor mei din firma Continental Automotive, cu sprijinul cărora am avut posibilitatea de a desfășura activitatea profesională în paralel cu cea doctorală.

Nu în ultimul rând, mulțumiri din suflet soției mele Karina, pentru sprijinul, răbdarea și dragostea oferită pe parcursul acestei perioade; mulțumesc părinților pentru educația oferită, pentru toate eforturile depuse pentru a mă forma ca și om aflat acum în postura susținerii unei teze de doctorat, pentru sfaturile și încurajările oferite în momentele dificile; mulțumesc de asemenea bunicilor, mătușii mele Adriana și tuturor prietenilor care mi-au fost alături.

Timișoara, Septembrie 2020

Răzvan-Cătălin MICLEA

Miclea, Răzvan-Cătălin

**Sisteme de creștere a siguranței traficului rutier în condiții meteo ce alterează vizibilitatea - cercetări și soluții**

Teze de doctorat ale UPT, Seria X, Nr. YY, Editura Politehnica, 2020, 179 pagini, 98 figuri, 12 tabele.

Cuvinte cheie: vizibilitate în condiții meteo dificile, ceață, orbire cauzată de soare sau faruri, acuitate vizuală, autovehicule autonome

Rezumat,

Teza abordează o problemă actuală, dar care va fi de mare interes și în viitor - mai ales dacă vorbim despre autovehiculele autonome - și se referă la problema vizibilității în diferite condiții meteo. Este analizată problema cauzată de ceață asupra vizibilității dar și de strălucirea orbitoare cauzată de razele solare și de farurile celorlalți participanți la trafic, în condiții nocturne. Cum am menționat și mai sus, aceste fenomene cauzează mari dificultăți șoferilor astăzi, dar ele vor impacta și vehiculele autonome care trebuie să identifice semnele de circulație, marcajele rutiere, pietonii sau alte obiecte ce apar pe carosabil, în vederea luării deciziilor necesare. Lucrarea prezintă rezultate experimentale obținute în laborator sau simulate care conduc la cele două sisteme descrise în capitolele finale, sisteme ce pot rezolva problemele anterior menționate.

## CUPRINS

Lista de figuri.....	7
Lista de tabele.....	10
Lista de abrevieri.....	11
1 INTRODUCERE.....	12
1.1 Importanța temei în contextul actual al domeniului Automotive.....	12
1.2 Tema, scopul și obiectivele tezei.....	13
1.3 Structura tezei.....	16
2 ASPECTE TEORETICE.....	18
2.1 Vizibilitatea.....	18
2.1.1 Definiții și terminologie.....	18
2.1.2 Domenii și metode de măsurare.....	20
2.1.3 Instrumente pentru măsurarea distanței de vizibilitate.....	22
2.1.4 Acuitatea vizuală.....	25
2.2 Ceața.....	28
2.3 Orbirea cauzată de strălucirea soarelui și a farurilor.....	29
2.3.1 Efectul de orbire.....	30
2.3.2 Identificarea poziției Soarelui.....	31
2.4 Echipamente utilizate în cadrul experimentelor.....	32
2.4.1 Generatorul de ceață.....	32
2.4.2 Dispozitivul laser.....	35
2.4.3 Dispozitiv de măsurare a puterii optice.....	38
2.4.4 Camera foto/video.....	39
2.5 Concluzii parțiale și contribuții.....	40
3 METODE ȘI SISTEME UTILIZATE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA VIZIBILITĂȚII ÎN CONDIȚII DE CEAȚĂ.....	41
3.1 Introducere.....	41
3.2 Metode de îmbunătățire a vizibilității.....	43
3.2.1 Legile lui Koschmieder (Koschmieder Law).....	44
3.2.2 Metoda „Dark channel Prior”.....	45
3.2.3 Segmentarea imaginilor utilizând o singură imagine la intrare.....	47
3.2.4 Segmentarea imaginilor utilizând mai multe imagini la intrare.....	48
3.2.5 Metode de învățare automate (Machine learning).....	49
3.3 Metode de detectare a ceții.....	51
3.3.1 Măsurarea transmisiei directe.....	51
3.3.2 Dispersia undei reflectate.....	52
3.3.3 Analiza imaginilor bazată pe caracteristici globale.....	53
3.4 Senzori și sisteme pentru măsurarea vizibilității.....	56

3.4.1	Senzori și sisteme aflate pe mașină.....	56
3.4.2	Senzori și sisteme externe.....	58
3.5	Reacția observatorilor umani .....	61
3.6	Concluzii parțiale și contribuții.....	62
4	MODELAREA MATEMATICĂ A PRINCIPALELOR METODE UTILIZATE ÎN DOMENIUL VIZIBILITĂȚII ÎN CEAȚĂ.....	66
4.1	Măsurarea domeniului de vizibilitate.....	66
4.2	Legile lui Koschmieder.....	67
4.3	Legea lui Allard.....	68
4.4	Metoda „Dark channel Prior”.....	69
4.5	Dispersia Rayleigh.....	71
4.6	Dispersia Mie.....	74
4.7	Concluzii parțiale și contribuții.....	78
5	EXPERIMENTE ȘI REZULTATE PENTRU DETECTAREA CEȚII.....	80
5.1	Absorbția fasciculului laser în ceață monitorizată cu o cameră video.....	81
5.1.1	Descriere sistem.....	81
5.1.2	Modelul experimental utilizat în laborator.....	85
5.1.3	Experimente, rezultate și concluzii.....	87
5.2	Dispersia fasciculului laser monitorizată cu o cameră video.....	93
5.3	Influența ceții asupra puterii optice și asupra acuității vizuale.....	95
5.3.1	Modelul experimental de 1 metru (Categoriile de ceață – putere optică vs nivel de ceață).....	96
5.3.2	Evaluarea performanțelor dispozitivelor LED.....	97
5.3.3	Evaluarea performanțelor dispozitivelor LASER.....	99
5.3.4	Evaluarea acuității vizuale umane.....	101
5.4	Modelul experimental de 3 metri.....	105
5.4.1	Modelul experimental: structura și scop.....	106
5.4.2	Rezultate experimentale și concluzii.....	109
5.5	Nou sistem pentru creșterea siguranței auto în condiții de ceață.....	134
6	ORBIREA CAUZATĂ DE SOARE.....	137
6.1	Notiuni introductive.....	137
6.2	Abordări anterioare.....	139
6.3	Parasolar digital – Structură.....	142
6.4	Sistemul de urmărire a soarelui.....	144
6.5	Sistemul de urmărire a ochilor.....	150
6.6	Head-up display.....	152
6.7	Descrierea sistemului din punct de vedere funcțional.....	153
6.8	Rezultate simulate.....	157
6.9	Concluziile parțiale și contribuții.....	161
7	CONCLUZII FINALE.....	163
8	REFERINȚE.....	169

## Lista de figuri

Fig. 1.1. Factori ce influențează vizibilitatea.....	14
Fig. 1.2. Sistemul de control și decizie.....	15
Fig. 1.3. Structura tezei.....	17
Fig. 2.1. Curbele de sensibilitate spectrală.....	22
Fig. 2.2. Tabela lui Sneller.....	27
Fig. 2.3. Identificarea poziției Soarelui.....	32
Fig. 2.4. Elementele de baza ale unui generator de ceață.....	33
Fig. 2.5. Mașina de generat fum FOG B-500.....	35
Fig. 2.6. Analiza particulelor de ceață generate cu mașina de fum FOG B-500.....	35
Fig. 2.7. Laser pointer într-un prim setup experimental.....	36
Fig. 2.8. Dispozitivul laser lambda III-2 he-ne.....	36
Fig. 2.9. Telemetru Bosch PLR 40c și dispozitivul LIDAR Lite V3hp.....	38
Fig. 2.10 Receptorul optic Newport Power Meter Model 1918-c.....	39
Fig. 2.11 Camera video Canon HF G10 pentru a) monitorizarea acuității vizuale; b) monitorizarea pierderii fasciculului laser în ceață.....	41
Fig. 3.1. Privirea de ansamblu asupra metodelor și sistemelor actuale referitoare la problema lipsei vizibilității cauzate de ceață.....	44
Fig. 3.2. Metode de măsurare a puterii optice.....	52
Fig. 4.1. Interpretarea geometrică a termenilor A, I, J.....	71
Fig. 4.2. Reprezentarea efectului de dispersie în cele trei regiuni – Rayleigh, Mie și optică.....	73
Fig. 4.3 Diagrama polară a dispersiei Rayleigh pentru trei lungimi de undă diferite.....	74
Fig. 4.4 Impactul dispersiei asupra diferitelor lungimi de undă.....	74
Fig. 4.5. Impactul dispersiei Rayleigh și Mie.....	76
Fig. 4.6 Modelul de dispersie pentru optica geometrică.....	79
Fig. 5.1 Sistem de detecție al vizibilității folosind un laser și o cameră.....	83
Fig. 5.2 Arhitectura sistemului.....	84
Fig. 5.3 Descompunerea imaginii color.....	85
Fig. 5.4 a). Imagine binarizată cu zgomot b). Imagine după filtrare.....	86
Fig. 5.5 Modelul experimental.....	87
Fig. 5.6 Configurația utilizată în laborator a). Structura b). În modul funcțional.....	88
Fig. 5.7 Fluxul de lucru al sistemului.....	89
Fig. 5.8 Condiții de noapte fără ceață a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	90
Fig. 5.9 Condiții de noapte cu ceață moderată a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	91
Fig. 5.10 Condiții de noapte cu ceață densă a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	92
Fig. 5.11 Condiții de zi fără ceață a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	92
Fig. 5.12 Condiții de zi cu ceață moderată a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	93

Fig. 5.13 Condiții de zi cu ceață densă a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	94
Fig. 5.14 Condiții de noapte fără ceață a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	96
Fig. 5.15 Condiții de noapte cu ceață moderată a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	96
Fig. 5.16 Condiții de noapte cu ceață densă a). Imagine originală b). Imagine procesată.....	97
Fig. 5.17 Sistem staționar de detectare a vizibilității în ceață.....	99
Fig. 5.18 Măsurători realizate cu o tablă gradată.....	100
Fig. 5.19 Modelul experimental din laborator.....	102
Fig. 5.20 Tabelul Sneller a). Vedere clară b). Vedere încețoșată.....	104
Fig. 5.21 Proiectarea optotipului.....	105
Fig. 5.22 Model experimental pentru testarea automată a acuității vizuale.....	105
Fig. 5.23 Nivele de ceață vs acuitatea vizuală.....	106
Fig. 5.24 Model experimental de testare și validare a metodelor de determinare a vizibilității în ceață.....	110
Fig. 5.25 Modelul experimental realizat în laborator.....	111
Fig. 5.26 Model experimental pentru realizarea unei perdele de ceață.....	112
Fig. 5.27 Model experimental pentru realizarea de ceață uniform/omogenă.....	112
Fig. 5.28 Configurația cu strat de ceață a) Condiții cu ceață densă b) Condiții cu ceață moderată.....	114
Fig. 5.29 Configurația cu rază lungă a) Condiții fără ceață b) Condiții cu ceață.....	115
Fig. 5.30 Puterea optică și acuitatea vizuală testată cu cameră video și OCR la $0.87\text{g/m}^3$ .....	116
Fig. 5.31 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la $0.87\text{g/m}^3$ .....	116
Fig. 5.32 Puterea optică și acuitatea vizuală testată cu cameră video și OCR la $1.74\text{g/m}^3$ .....	117
Fig. 5.33 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la $1.74\text{g/m}^3$ .....	118
Fig. 5.34 Puterea optică și acuitatea vizuală testată prin cameră și OCR la $2.6\text{g/m}^3$ .....	118
Fig. 5.35 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la $2.6\text{g/m}^3$ .....	119
Fig. 5.36 Puterea optică și acuitatea vizuală testată prin cameră și OCR la $3.47\text{g/m}^3$ .....	119
Fig. 5.37 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la $3.47\text{g/m}^3$ .....	120
Fig. 5.38 Evaluarea rezultatelor lidarului și telemetrului în diferite condiții de ceață.....	121
Fig. 5.39 Analiza particulelor de ceață pe a) oglindă b) metal.....	123
Fig. 5.40 Analiza la zoom x50 a). originală b). Prelucrată.....	124
Fig. 5.41 Analiza la zoom x200 a). originală b). Prelucrată.....	124
Fig. 5.42 Intensitatea de dispersie la diferite unghiuri de incidentă pentru diferite mărimi ale particulelor de ceață: a). mică b). Valoarea medie c). mare.....	126
Fig. 5.43 Impactul fiecărei secțiuni asupra fasciculului laser.....	127
Fig. 5.44 Imaginea fără ceață a) originală b) ceață eliminată c) rafinată aplicând DCP.....	130
Fig. 5.45 Imaginea cu ceață scăzută a) originală b) ceață eliminată c) rafinată aplicând DCP.....	130
Fig. 5.46 Imaginea cu ceață medie a) originală b) ceață eliminată c) rafinată aplicând DCP.....	131
Fig. 5.47 Imaginea cu ceață densă a) originală b) ceață eliminată c) rafinată aplicând DCP.....	131
Fig. 5.48 Imagini originale, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă.....	132



Fig. 5.49 Histogramele imaginilor originale, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă.....	132
Fig. 5.50 Histogramele imaginilor după aplicarea HE, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă.....	133
Fig. 5.51 Imaginilor după aplicarea HE, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă.....	134
Fig. 5.52 Imaginile după aplicarea filtrului Canny și detectarea obiectelor din imagine, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă.....	135
Fig. 5.53 Propunere de sistem pentru creșterea siguranței în trafic în condiții de ceață.....	135
Fig. 5.54 Propunere de sistem pentru creșterea siguranței în trafic în condiții reale de trafic.....	138
Fig. 6.1 Parasolar automat a) Poziție închisă b) Poziție deschisă.....	143
Fig. 6.2 Conceptul de sticlă inteligentă prezentat de Continental.....	143
Fig. 6.3 Conceptul de display în sticlă.....	144
Fig. 6.4 Conceptul de parbriz inteligent.....	145
Fig. 6.5 Fenomenul de orbire.....	145
Fig. 6.6 Imagine de ansamblu grafică a parasolarului digital.....	146
Fig. 6.7 Schema bloc a parasolarului digital.....	147
Fig. 6.8 Senzor de detecție a poziției soarelui ISS-DX.....	148
Fig. 6.9 Sistemul de detectare a soarelui.....	149
Fig. 6.10 Privire de ansamblu geometrică a sistemului.....	150
Fig. 6.11 Suport pentru determinarea ecuațiilor pentru nr și np.....	151
Fig. 6.12 Suport pentru determinarea ecuațiilor pentru SD.....	152
Fig. 6.13 Sistem de urmărire a ochilor compus din două camera video.....	154
Fig. 6.14 Sistem de urmărire a ochilor bazat pe camere video și lumină LED.....	154
Fig. 6.15 Atenuarea fenomenului de orbire folosind HUD.....	156
Fig. 6.16 Diagrama funcțională a parasolarului digital.....	157
Fig. 6.17 Diagrama de flux a sistemului de umbrire.....	158
Fig. 6.18 Diagramă a fluxului de simulare.....	161
Fig. 6.19 Primul scenariu de test - Soarele (S) și ochii șoferului (D) au poziții fixe.....	162
Fig. 6.20 Al doilea scenariu de test — S punct mobil și D punct fix.....	162
Fig. 6.21 Al treilea scenariu de test — S punct fix și D punct mobil.....	163
Fig. 6.22 Al patrulea scenariu de test — S și D sunt puncte mobile.....	163

## Lista de tabele

Tab. 1 Evaluarea metodelor din literatură.....	64
Tab. 2 Categoriile de dispersanți din atmosferă.....	79
Tab. 3 Puterea la intrare vs dimensiunea fasciculului pentru un dispozitiv LED.....	100
Tab. 4 Intensitatea curentului vs lungimea fasciculului pentru un dispozitiv LED.....	101
Tab. 5 Puterea la intrare vs puterea la ieșire pentru un dispozitiv laser.....	102
Tab. 6 Puterea la ieșire în diferite condiții de ceață pentru un dispozitiv laser.....	103
Tab. 7 Nivele de ceață vs Acuitatea vizuală.....	106
Tab. 8 Paralelă între pierderea puterii optice și a acuității vizuale pentru diferite cantități de ceață la un strat de ceață de 30cm și observarea tabelii de la 3m.....	113
Tab. 9 Paralelă între pierderea puterii optice și a acuității vizuale pentru diferite cantități de ceață pentru ceață uniformă și observarea tabelii de la 3m.....	114
Tab. 10 Rezultatele obținute în urma măsurătorilor cu dispozitivele LIDAR și Telemetrul în diferite condiții de ceață.....	121
Tab. 11 Două cazuri de particule de ceață analizate.....	123
Tab. 12 Estimarea acuității vizuale pe baza coeficientului de atenuare.....	129
Tab. 13 Caracteristicile senzorului ISS-DX.....	149

## Lista de abrevieri

ADAS – Advanced Driver Assistance System  
AI – Artificial Intelligence  
ANN - Artificial Neural Networks  
BTD - Brightness Temperature Difference (diferența de temperatură a luminozității)  
CEDD - Color and Edge Directivity Descriptor  
CNN - Conventional Neural Networks  
DCP – Dark Channel Prior  
DNN - Deep Neuronal Networks  
DSD - Drop Size Distribution  
EHD - Edge Histogram Descriptor  
FFT - Fast Fourier Transform  
FCHT - Fuzzy Color and Histograma Texture  
FOH - Fuzzy Opponent Histogram  
FSSP - Forward Scattering Spectrometer Probe  
GRNN - Generalized Regression Neural Network  
HuD - Head-up Display  
IEC - International Electrotechnical Commission  
ITU-R - International Telecommunication Union – Radiocommunication sector  
IT&C - Information and communications technology  
JHD - Joint Histogram Descriptor  
LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation  
LED - Light-Emitting Diode  
LIDAR - Light Detection and Ranging  
LWC - Liquid Water Content  
ML - Machine Learning  
MOR – Meteorological Optical Range  
NDSI - Normalized-Difference Snow Index  
NWVI - Normalized difference near-infrared Water Vapour Index  
OCR - Optical Character Recognition  
PSS - Power Spectrum Slope  
PVM - Particle Volume Monitor  
RBF - Radial Basis Function  
SCD - Scalable Color Descriptor  
SCH - Simple Color Histogram  
V2V - vehicle-to-vehicle  
V2X - vehicle-to-infrastructure  
WMO - World Meteorological Organization

# 1 INTRODUCERE

## 1.1 Importanța temei în contextul actual al domeniului Automotive

Progresul major din domeniu IT&C ne schimbă efectiv viețile din mai multe puncte de vedere, printre cele de referință fiind siguranța și confortul. Dacă analizăm domeniul transportului de persoane, public sau privat, observăm schimbări care în urmă cu doar un deceniu ni s-ar fi părut imposibile: automobilele sau autobuzele autonome ce vin împreună cu noile concepte de interconectare „vehicle-to-vehicle (V2V)” sau „vehicle-to-infrastructure (V2X)”, noul concept de tren „hyperloop” ca al cincilea mod de transport după mașină, trenul clasic, vapor și avion sau diferitele „gadget-uri” de transport electrice (monociclu electric, skateboard electric, trotinetă electrică, segway etc.). Toate aceste idei au apărut ca necesități de a crește confortul și siguranța pasagerilor, de a scurta durata de deplasare și de a o ușura mai ales în metropolele foarte aglomerate.

Intensificarea traficului are impact și asupra siguranței transportului, a mijloacelor tot mai sofisticate necesare luării deciziilor care să evite accidentele de circulație. Cele mai multe accidente de circulație au loc în zilele noastre din cauza condițiilor meteo, oboselii sau neatenției șoferilor. Dacă ultimele două categorii pot fi rezolvate prin introducerea automobilului autonom, eroarea umană fiind astfel eliminată, pentru condițiile meteo problema rămâne încă deschisă. Un exemplu negativ în această privință este automobilul autonom dezvoltat de Google, care nu a trecut o serie de teste realizate în condiții dificile. Pentru realizarea transportului autonom, în condiții de siguranță a pasagerilor, dar și pentru ceilalți participanți la trafic, automobilul trebuie să fie dotat cu o serie de senzori care să transmită informații sistemului de control și de decizie a mașinii. De asemenea, automobilul autonom trebuie să comunice și cu celelalte automobile participante la trafic (V2V), dar să obțină și informații din mediul înconjurător, idei ce se regăsesc în Revoluția Industrială 4.0, bazată pe conectivitate și comunicare.

Introducerea mașinii autonome se va face treptat, în literatura de specialitate fiind descrise mai multe nivele de autonomie, plecând de la nivelul în care controlul este la șofer și mașina oferă anumite atenționări și ajungând la independența totală a mașinii:

- Nivelul 0 – Sistemul oferă atenționări și poate interveni pentru scurte perioade de timp (exemplu: frânare în caz de pericol iminent), dar controlul este deținut de șofer.
- Nivelul 1 – Numit și nivelul participativ (“hands on”) sau “driver assistance system”, în care șoferul și sistemul își împart controlul asupra mașinii. Un exemplu ar fi menținerea vitezei constante de către sistem pe autostrăzi, dar și frânări sau avetizări în cazul în care nu se menține banda de mers în timp ce volanul se află sub controlul șoferului. La acest nivel șoferul trebuie să fie pregătit în orice moment să preia controlul total asupra mașinii.

- Nivelul 2 – Numit nivelul “hands off” sau “partial automation”, în care sistemul controlează mașina în totalitate, dar șoferul trebuie să fie pregătit să intervină în cazul în care unele comenzi nu sunt executate în mod corect. De aceea, la acest nivel este recomandat ca mâinile șoferului să se afle pe volan.
- Nivelul 3 – Numit “eyes off” deoarece la acest nivel șoferul poate să își ia privirea de la drum și să se ocupe de alte activități, sistemul având control total asupra mașinii. Totuși și la acest nivel șoferul trebuie să fie pregătit să intervină în caz de necesitate, într-un timp indicat de producător; din acest motiv acest nivel mai este cunoscut ca și “conditional automation”.
- Nivelul 4 – Începând cu acest nivel (“high automation”), intervenția șoferului nu mai este obligatorie. Nivelul este numit “mind off”, în sensul în care șoferul se poate deconecta total de la condus, putând chiar dormi în timpul mersului. Circulația vehiculelor autonome de nivel 4 este permisă doar în anumite zone; în momentul în care aceste zone sunt părăsite iar șoferul nu preia comanda, mașina se va parca singură.
- Nivelul 5 – Numit “full automation” sau “steering wheel optional”, șoferul nu trebuie - și în lipsa volanului nici nu poate - să intervină în deciziile luate de sistem. Astfel de automobile sunt ideale pentru taxi-uri sau autobuze autonome.

## 1.2 Tema, scopul și obiectivele tezei

Prin tema aleasă în cadrul acestei cercetări, autorul tezei tratează partea de identificare a condițiilor/factorilor meteo și oferirea unor soluții pentru șoferi sau sistemele mașinilor autonome, privitoare la distanța de vizibilitate în condiții de ceață, vizând:

- atenționarea/notificarea șoferilor - dacă ne referim la un sistem extern amplasat pe marginea carosabilului sau,
- transmiterea unor informații utile șoferului sau sistemului de comandă și control al mașinii - dacă ne referim la un sistem intern, aflat pe mașină.

De asemenea va fi abordată și orbirea cauzată de strălucirea soarelui, ceea ce poate duce la omiterea unor obiecte, pietoni, sau a altor automobile aflate în trafic (Fig. 1.1). Un exemplu în acest sens poate fi primul accident fatal cauzat de un automobil autonom Tesla (7 Mai 2016), care conform raportului întocmit de inginerii companiei Tesla nu a “observat” (nici sistemul, nici șoferul) un tir de culoare albă aflat pe autostradă, din cauza cerului însorit.

Scopul principal al acestei teze este abordarea uneia dintre problemele importante - distanța de vizibilitate în condiții de ceață - și oferirea unor soluții noi, la nivelul actual al tehnologiilor, pentru creșterea siguranței pe drumurile publice. Această problemă nu este specifică doar șoferilor, “vizibilitatea” fiind vitală și în cazul automobilelor autonome (identificarea pietonilor, semnelor de circulație, a altor participanți la trafic etc.). Necesitatea rezolvării acestei probleme va rămâne valabilă chiar și după implementarea conceptului V2X.

Cauzele a aproximativ 25% dintre accidentele de circulație (cifră ce rămâne constantă în ultimele două decenii) sunt condițiile/factorii meteo care influențează (reduc) vizibilitatea. Dintre fenomenele din atmosferă - ploaie, zapadă, ceață și strălucirea soarelui- în lucrarea de față se vor trata ultimele două categorii, cu accent pe efectele

ceții - pentru că impactul ei este cel mai mare asupra vizibilității; cu cât dimensiunea particulei este mai mică și densitatea particulelor mai mare, vizibilitatea scade și pericolul producerii de accidente crește.

După cum se poate observa în figura 1.1, există mai multe categorii de factori de "vizibilitate" care pot influența siguranța pe șosele:

- Factori ce țin de observator:
  - o Răspunsul psihofizic (ochi - creier) la lumina provenită din atmosferă (nivelul de percepție în cazul schimbărilor de contrast);
  - o Sensibilitatea la dimensiune, caracteristici sau culoare;
  - o Modul subiectiv de percepere a imaginilor;
- Factori ce țin de conținutul atmosferic:
  - o Particulele și moleculele din atmosferă adaugă lumină solară (albastră sau albă) în frontul de vizibilitate al observatorului la contact cu razele solare, reduc lumina venită dinspre obiectul țintă, având ca efect reducerea contrastului și deformarea culorii, iar când densitatea lor crește creează chiar opacitate;
- Factori ce țin de iluminanța atmosferică:
  - o Modificarea unghiului, a spectrului și a intensității solare datorată norilor și conținutului atmosferic;
- Factori ce țin de obiectul țintă observat:
  - o Contrastul propriu datorat: reflexiei spectrale (culoare), formă, dimensiune, distanță, caracteristici, iluminare;

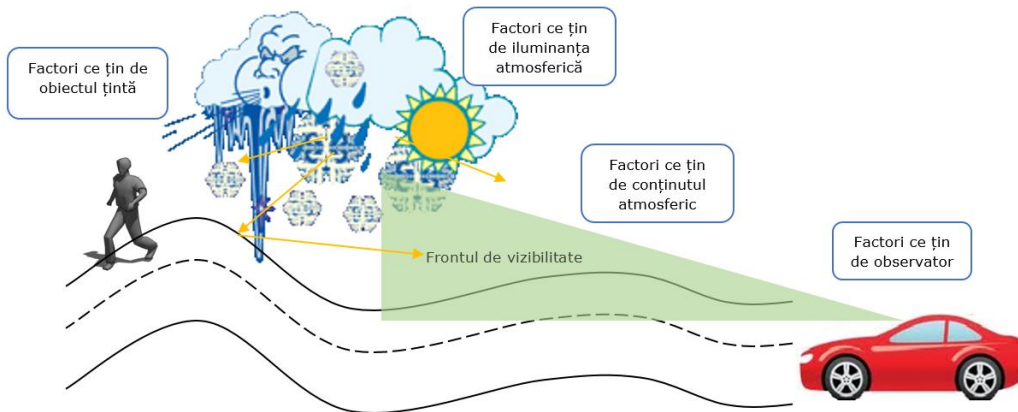


Fig. 1.1. Factori ce influențează vizibilitatea

Pentru a preîntâmpina și rezolva aceste probleme de "vizibilitate", este nevoie de o interconectare a sistemului de comandă și control al mașinii cu dispozitivele ce realizează măsurătorile parametrilor meteo locali (exteriori) în timp real, dar și cu sistemul rutier de control al traficului pentru a primi din timp diverse notificări și

atenționări, astfel încât automobilul să fie capabil, în caz de necesitate, să reconfigureze ruta (Fig. 1.2). Acest proces de monitorizare a factorilor specifici siguranței deplasării începe din momentul în care șoferul stabilește ruta de deplasare, poziția actuală trebuind să fie mereu comparată cu poziția destinație, iar dacă acestea nu coincid, sistemul trebuie să realizeze măsurătorile necesare, să achiziționeze datele de la sistemele externe (instalate pe autostrăzi sau de la alte automobile participante în trafic) și să configureze (în timp real) ruta cea mai sigură dar și cea mai avantajoasă din punct de vedere al timpului și cantității de combustibil. În cazul în care pe traseu apar evenimente neprevăzute inițial (furtuni, ceață, polei sau chiar accidente care îngreunează traficul), sistemul de comandă și control trebuie să ia decizia de schimbare a traseului pe baza informațiilor legate de parametrii de deplasare.

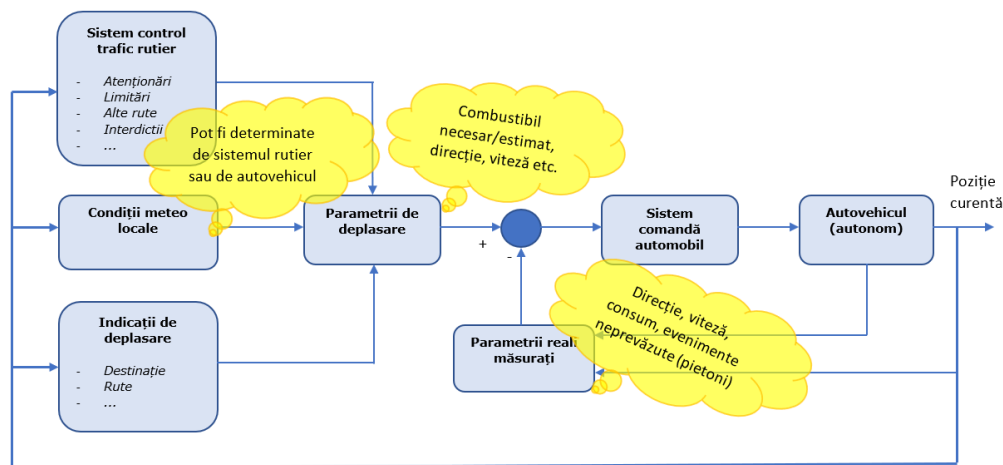


Fig. 2.2. Sistemul de control și decizie

Justificat de cele prezentate mai sus, se propune prin această cercetare realizarea a trei obiective majore:

- (i) realizarea unui model experimental, în laborator, care să permită studiul și experimentele, în condiții de repetabilitate, a tehnicilor și metodelor (existente și noi propuse de autor) pentru estimarea vizibilității în condiții de ceață;
  - (ii) elaborarea unei soluții practice - prin care conducătorii auto, ori autovehiculele autonome sunt informați de condițiile de vizibilitate care să conducă la creșterea siguranței traficului rutier;
  - (iii) evitarea obirii șoferului, datorată strălucirii soarelui, prin introducerea unui sistem de parasolar dinamic – posibil de realizat utilizând sisteme deja existente pe autovehiculele actuale ca o alternativă la parbirzele construite cu tehnologiile "smart glass".
- Parcursul către obiectivele menționate are ca linii directe etapele firești ale unei cercetări și anume documentarea stadiului actual, bazele teoretice ale fenomenelor și metodelor, propunerea și experimentarea soluțiilor, inclusiv comentariile și concluziile aferente.

### 1.3 Structura tezei

În figura 1.3 este prezentată structura și conținutul pe capitole a tezei.

În capitolul 2 sunt prezentate/definite noțiunile teoretice legate de vizibilitate (terminologie, metode și instrumente de măsurare, acuitatea vizuală), ceață (structură, formare, tipuri de ceață), efectul de orbire cauzat de soare (cauzele și efectele acestui fenomen, apariția lui în funcție de poziția soarelui), precum și echipamentele necesare/utile pentru evaluarea acestora.

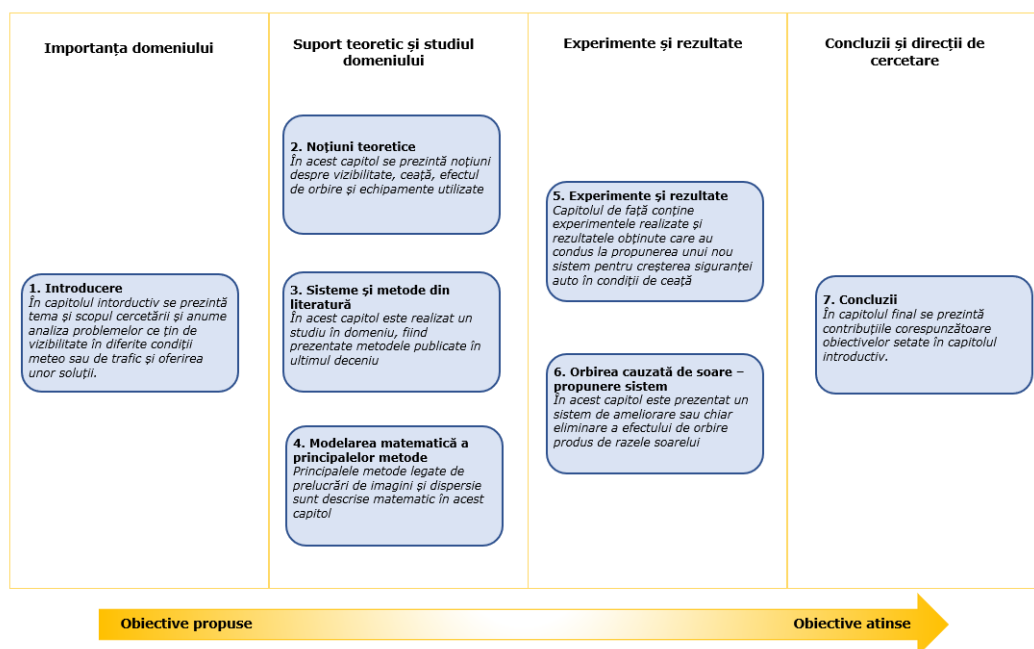


Fig. 3.3. Structura tezei

În capitolul 3 este realizat un studiu asupra sistemelor și metodelor din literatura de specialitate, publicate în ultimul deceniu în acest domeniu. Sunt evidențiate metode ce au ca scop îmbunătățirea vizibilității și detectarea ceții; cele mai utilizate metode sunt bazate pe prelucrări de imagini și măsurători ale puterii optice. Există de asemenea sisteme deja instalate pe mașini, unele dintre ele îndeplinind la momentul actului alte funcții, care pot furniza date extrem de utile în evaluarea condițiilor meteo. În ultima parte a acestui capitol se analizează reacțiile stimulilor umani în diferite condiții de trafic; un aspect extrem de important, ce va fi tratat în această cercetare, se referă la validitatea rezultatelor furnizate de sistemele automate pentru șoferi, acestea fiind încă necesare



până în momentul în care întreg traficul rutier va fi autonom și influența umană asupra deciziilor automobilului va fi eliminată.

În capitolul 4 se prezintă suportul matematic necesar pentru a înțelege modelele și modelarea fenomenelor fizice ce stau la baza apariției problemelor identificate, precum și a mijloacelor științifice folosite pentru rezolvarea lor.

Capitolul 5 conține rezultatele experimentelor realizate pe parcursul perioadei de cercetare: absorbția și dispersia fasciculului laser în ceață, influența ceții asupra surselor optice, prezentarea modelelor experimentale de laborator, analiza particulelor de ceață generate în cadrul laboratorului și influența acestora asupra surselor optice, a imaginilor sau a vederii. O paralelă între toate aceste rezultate (obținute de sistemele automate) și acuitatea vizuală testată pe un eșantion de aproximativ 100 de persoane, este de asemenea prezentată. Pe baza tuturor acestor experimente, la final de capitol se propune un nou sistem de creștere a siguranței auto în condiții de ceață. Sistemul măsoară densitatea ceții, gradul de opacitate creat asupra vederii, oferind distanța de vizibilitate estimată în acele condiții specifice dar și o recomandare asupra vitezei cu care mașina trebuie să se deplaseze, recomandare care în cazul mașinilor autonome este direct transmisă în sistem și implementată.

În capitolul 6 este abordată problema orbirii cauzate de razele soarelui, în condiții diurne, sau de luminile altor participanți la trafic, în condiții nocturne. În prima parte sunt analizate abordările actuale ca mai apoi să se prezinte o propunere de sistem de ameliorare sau chiar eliminare a efectului de orbire produs de razele soarelui, format în mare parte din subsisteme existente deja pe noile modele de vehicule: HuD (Head-up Display), sistem de urmărire a ochilor șoferului, senzori de luminozitate.

În ultimul capitol, capitolul 7, sunt prezentate concluziile acestei cercetări cu revendicările originale, avantajele și dezavantajele fiecărui sistem propus.

## 2 ASPECTE TEORETICE

### 2.1 Vizibilitatea

#### 2.1.1 Definiții și terminologie

Vizibilitatea a fost definită mai întâi în scopuri meteorologice ca o mărime care trebuie estimată de un observator uman, iar observațiile făcute în acest mod sunt utilizate pe scară largă. Cu toate acestea, estimarea vizibilității este afectată de mulți factori subiectivi și fizici. Transparența atmosferei, mărime meteorologică esențială, poate fi măsurată obiectiv și este reprezentativă pentru domeniul optic meteorologic (MOR - Meteorological Optical Range). Conform Comisiei Internaționale de Iluminare, domeniul optic meteorologic este lungimea căii (traseului) din atmosferă care este necesară pentru a atenua cu 95% fluxul luminos într-un fascicul colimat al unei surse de lumină, la o temperatură de culoare de 2700 K.

Abilitatea de a defini, monitoriza, modela și controla degradarea vizibilității umane depinde de înțelegerea factorilor științifici și tehnici care afectează vizibilitatea atmosferică. Așa cum a fost menționat mai sus, vizibilitatea implică percepția unui observator asupra mediului fizic. Principalii factori care influențează vizibilitatea sunt:

- Iluminarea scenei de către soare, mediată de nori, reflexia solului și a atmosferei;
- Reflexia, absorbția și împrăștierea (dispersia) luminii de intrare de către obiectele țintă și cer, care au ca și rezultat o deformare a contrastului și culorilor la locul țintei;
- Împrăștierea (dispersia) și absorbția luminii obiectului țintă și a sursei de iluminare de către atmosferă și impuritățile din aceasta;
- Răspunsul psihofizic al sistemului uman ochi-creier la distribuția luminoasă rezultată;
- Judecata subiectivă a imaginilor percepute de către observator [1];

Pe lângă factorii definiți mai sus, este utilă enunțarea următoarelor patru caracteristici (calități) fotometrice, ce sunt detaliate în diferite standarde, cum ar fi cele elaborate de Comisia Internațională de Electrotehnică (IEC, 1987):

- Fluxul luminos (simbol:  $F$  (sau  $\Phi$ ); unitate de măsură: lumen) - reprezintă o cantitate derivată din fluxul radiant prin evaluarea radiației în funcție de acțiunea sa asupra observatorului fotometric standard al Comisiei internaționale privind iluminarea;
- Intensitatea luminoasă (simbol:  $I$ ; unitate de măsură: candela sau  $\text{lm sr}^{-1}$ ) - este flux luminos pe unitate unghi solid;
- Luminanța (simbol:  $L$ ; unitate de măsură:  $\text{cd m}^{-2}$ ) - este intensitatea luminoasă pe unitatea de suprafață;
- Iluminarea (simbol:  $E$ , unitate de măsură; lux sau  $\text{lm m}^{-2}$ ) este fluxul luminos pe unitatea de suprafață.

În contextul temei analizate în această cercetare, merită menționate și următoarele caracteristici, ce vor fi extrem de utile în înțelegerea rezultatelor experimentale:

- Coeficientul de extincție (simbolul  $\sigma$  sau  $\beta$ ) reprezintă proporția fluxului luminos pierdut de un fascicul colimat, emis de o sursă de lumină cu incandescență la o temperatură de culoare de 2700 K, în timp ce se deplasează pe lungimea unei distanțe unitare în atmosferă. Coeficientul este o măsură a atenuării datorată absorbției și dispersiei (împrăștierii).
- Contrastul de luminanță (simbolul C) este raportul dintre diferența luminanței unui obiect și fundalul său, și luminanța fundalului.
- Pragul de contrast (simbolul  $\epsilon$ ) reprezintă valoarea minimă a contrastului de luminanță pe care îl poate detecta ochiul uman, și anume valoarea care permite distingerea unui obiect de fundal. Pragul de contrast variază de la un individ la altul.
- Pragul de iluminare (simbolul  $E_t$ ) este cea mai mică iluminare, necesară pentru ochi, pentru detectarea surselor de lumină punctuale pe un fundal de luminanță specificat. Valoarea lui  $E_t$ , prin urmare, variază în funcție de condițiile de iluminare.
- Factorul de transmisie (simbolul T) este definit pentru un fascicul colimat dintr-o sursă incandescentă la o temperatură a culorii de 2 700 K, ca fracțiune de flux luminos care rămâne în fascicul după traversarea unei căi optice de o anumită lungime în atmosferă. Factorul de transmisie se numește și coeficientul de transmisie. Condițiile de transmisie a puterii sau puterea transmisivă a atmosferei sunt, de asemenea, utilizate atunci când calea este definită, adică cu o lungime specifică (de exemplu, în cazul unui transmisiometru). În acest caz, T este adesea înmulțit cu 100 și exprimat în procente.

Conform lui Middelton, în [2], distanța la care un anumit obiect poate fi văzut prin atmosferă este o funcție a trei grupe de variabile:

- proprietățile optice ale atmosferei;
- proprietățile obiectului în sine și a fundalului său;
- starea de adaptare a ochilor observatorului.

Spre exemplu, o variabilă pentru prima categorie este reprezentată de lumina solară adăugată în frontul de vizibilitate prin intersectarea razelor soarelui cu particulele sau moleculele din atmosferă. Dacă obiectul ce este observat este o sursă de lumină, intensitatea luminoasă (putere candela) a sursei de lumină este proprietatea ce ține de cea de-a doua grupă de variabile. Sensibilitatea ochiului la culoare, dimensiune sau diverse caracteristici ale obiectului țintă sunt variabile pentru cea de-a treia grupă.

Vizibilitatea meteorologică pe zi și vizibilitatea meteorologică pe timp de noapte sunt definite ca fiind cea mai mare distanță la care un obiect negru de dimensiuni adecvate (amplasat pe pământ) poate fi văzut și recunoscut atunci când este observat având orizontul (cerul) pe fundal, în timpul zilei sau poate fi văzut și recunoscut în timpul nopții dacă iluminarea generală a fost ridicată la nivelul normal al luminii de zi (10.000 lux), conform organizației mondiale de meteorologie (WMO - World Meteorological Organization).

Valorile pragului de iluminare  $E_t$  variază considerabil în funcție de luminanța ambientală. Se utilizează următoarele valori, considerate valori medii ale observatorului:

- $10^{-6.0}$  lux la apus și la răsărit sau când există o lumină apreciabilă datorată surselor artificiale;

- $10^{-6.7}$  lux la lumina lunii, sau când nu este încă complet întunecat;
- $10^{-7.5}$  lux în întuneric complet sau fără lumină, altele decât lumina stelelor.

Extrem de importantă pentru vizibilitate este lumina atmosferică, definită ca fiind lumina provenită de la soare și de la cer care este împrăștiată în ochii unui observator de către particulele (suspensiile) atmosferice (și, într-o mică măsură, de moleculele de aer), care se află în conul vizual al observatorului. Cu alte cuvinte, lumina atmosferică ajunge în ochii unui observator în același mod în care radiația difuză a cerului atinge suprafața Pământului. Lumina atmosferică („airlight”, termenul utilizat în engleză) este factorul fundamental care limitează vizibilitatea orizontală pe timp de zi pentru obiectele negre, deoarece conținutul său (particule/molecule), integrat de-a lungul conului vizual de la ochi la obiect, ridică luminanța aparentă a unui obiect negru suficient de îndepărtat la un nivel care nu poate fi distins de cel al fundalului (orizontul sau cerul). Contrar estimărilor subiective, cea mai mare parte a luminii (atmosferice) care pătrunde în ochii observatorilor provine din zone ale conului lor vizual situate în apropiere.

### 2.1.2 Domenii și metode de măsurare

Vizibilitatea meteorologică este exprimată în metri sau kilometri. Domeniul de măsurare variază în funcție de aplicație. În timp ce pentru cerințele meteorologice sinoptice scara măsurărilor vizibilității se extinde de la mai puțin de 100 m până la mai mult de 70 km, intervalul de măsurare poate fi mai restricționat pentru alte aplicații. Acesta este cazul pentru aviația civilă, unde limita superioară poate fi de 10 km. Acest interval poate fi redus atunci când este aplicat măsurării domeniului vizual al pistei pentru aterizare și decolare în condiții de vizibilitate redusă. Domeniul de vizibilitate a pistei, necesar, este numai între 50 și 1 500 m. Pentru alte aplicații, cum ar fi traficul rutier sau maritim, pot fi aplicate limite diferite atât în funcție de cerințele, cât și de locațiile unde se efectuează măsurătorile.

Erorile măsurătorilor de vizibilitate cresc proporțional cu vizibilitatea, iar scările de măsurare țin cont de acestea. Acest fapt se reflectă în codul utilizat pentru rapoartele sinoptice prin folosirea a trei segmente liniare cu rezoluție descrescătoare, și anume: de la 100 la 5 000 m în trepte de 100 m, de la 6 până la 30 km în trepte de 1 km și de la 35 până la 70 km în trepte de 5 km. Această scală permite afișarea vizibilității cu o rezoluție mai bună decât acuratețea impusă măsurătorii, cu excepția cazului în care vizibilitatea este mai mică de aproximativ 1 000 m.

Vizibilitatea este un fenomen psiho-fizic complex, determinat în principal de coeficientul de extincție atmosferică asociat cu particule solide și lichide susținute în suspensie în atmosferă; extincția (micșorarea intensității fasciculului) este cauzată mai degrabă de dispersia decât de absorbția luminii. Estimarea sa este supusă variațiilor percepției individuale și a capacității interpretative, precum și a caracteristicilor sursei de lumină și a factorului de transmisie. Astfel, *orice estimare vizuală a vizibilității este subiectivă.*

Atunci când vizibilitatea este estimată de un observator uman, aceasta depinde nu numai de caracteristicile fotometrice și dimensionale ale obiectului care este sau ar trebui să fie perceput, ci și de pragul de contrast al observatorului. În timpul nopții, depinde de intensitatea surselor de lumină, de iluminarea fundalului și, dacă este estimată

de un observator, de adaptarea ochilor acestuia la întuneric și a pragului de iluminare al acestuia. Estimarea vizibilității pe timp de noapte este deosebit de problematică.

Cu ajutorul metodelor instrumentale se poate măsura coeficientul de extincție din care poate fi calculat domeniul de vizibilitate meteorologică. Vizibilitatea poate fi apoi calculată pornind de la cunoașterea pragurilor de contrast și iluminare sau prin atribuirea de valori convenite acestora. Instrumentele fixe sunt utilizate presupunând că coeficientul de extincție este independent de distanța. Unele instrumente măsoară atenuarea directă, iar altele măsoară împrăștierea luminii pentru a obține coeficientul de extincție. Analiza succintă a fizicii vizibilității, efectuată în acest capitol, poate fi utilă pentru înțelegerea relațiilor dintre diferitele determinări ale coeficientului de extincție și pentru luarea în considerare a instrumentelor utilizate pentru măsurarea acesteia.

După cum a fost deja precizat în paragrafele precedente, există o diferență între vizibilitatea pe timp de zi și cea pe timp de noapte; cu alte cuvinte percepția vizuală se împarte în două categorii - vederea fotopică și scotopică. Condițiile de percepție vizuală se bazează pe măsurarea eficienței fotopice a ochiului uman în ceea ce privește radiația monocromatică din spectrul luminii vizibile. Termenii *vederea fotopică* și *vederea scotopică* se referă la condițiile de zi, respectiv de noapte.

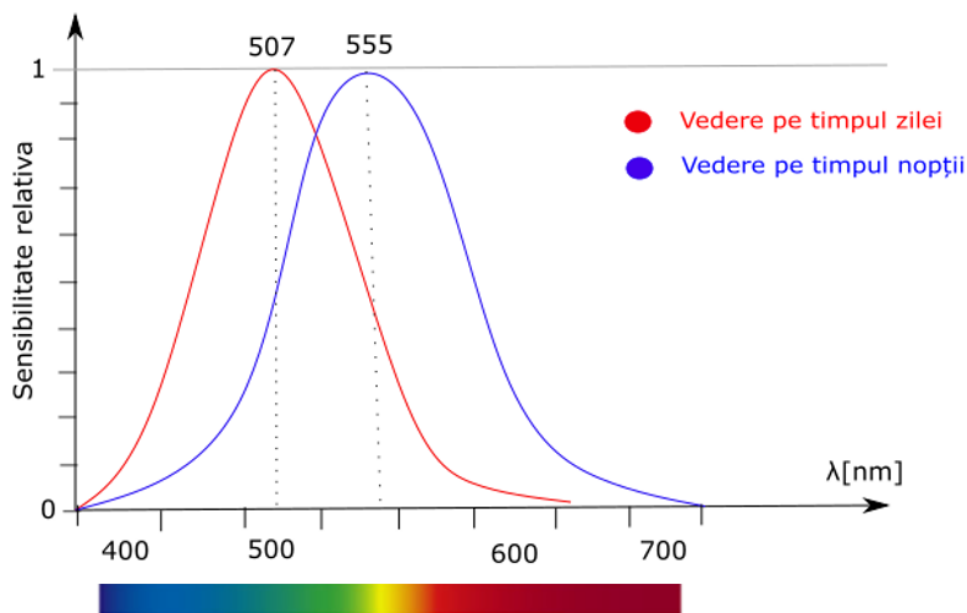


Fig. 2.1. Curbele de sensibilitate spectrală

Adjectivul fotopic se referă la starea de adaptare a ochiului pentru condițiile de luminanță ambientală în timpul zilei. Mai precis, starea fotopică este definită ca răspunsul vizual al unui observator cu vizibilitate normală la stimulul luminii care apare pe fovea retinei (cea mai sensibilă parte situată în centrul retinei). Fovea (sau pata galbenă) permite distingerea detaliilor fine și a culorilor în astfel de condiții de adaptare.

În cazul vederii fotopice (viziune cu ajutorul foveei), eficiența luminoasă relativă a ochiului variază cu lungimea de undă a luminii incidentate. Eficiența luminoasă a ochiului în viziunea fotopică este maximă pentru o lungime de undă de 555 nm. Curba de răspuns pentru eficiența relativă a ochiului la diferitele lungimi de undă ale spectrului vizibil poate fi stabilită prin luarea eficienței la o lungime de undă de 555 nm ca valoare de referință. Se obține astfel curba din figura 2.1, adoptată de Comisia Internațională de Iluminare pentru un observator normal (ref. 845-01-22<sup>1</sup>).

Viziunea pe timp de noapte este considerată a fi scotopică (viziunea care implică celulele cu bastonașe, în loc de fovea, din retină). Celulele cu conuri umane nu sunt funcționale la lumina slabă; vederea scotopică este produsă exclusiv prin celulele cu bastonașe (nu au sensibilitate la culoare sau detalii fine, dar sunt deosebit de sensibile la intensitățile luminoase scăzute) care sunt mai sensibile la lungimi de undă de 498 nm și insensibile la cele mai lungi de 640 nm. În vederea scotopică, randamentul luminos maxim corespunde unei lungimi de undă de 507 nm (Fig. 2.1). Viziunea scotopică necesită o perioadă lungă de adaptare, de până la 30 de minute, în timp ce viziunea fotopică necesită doar 2 minute.

### 2.1.3 Instrumente pentru măsurarea distanței de vizibilitate

Instrumentele pentru măsurarea domeniului de vizibilitate pot fi clasificate în două categorii:

- a. Instrumente care măsoară coeficientul de extincție sau factorul de transmisie: atenuarea luminii se datorează atât dispersiei cât și absorbției de către particulele din aer, aflate de-a lungul căii fasciculului luminos;
- b. Instrumente care măsoară coeficientul de dispersie a luminii dintr-un volum mic de aer: în ceață naturală, absorbția este adesea neglijabilă, iar coeficientul de dispersie poate fi considerat ca fiind același cu coeficientul de extincție.

Ambele categorii, menționate mai sus, includ instrumente utilizate pentru măsurători vizuale de către un observator și instrumente care utilizează o sursă de lumină și un dispozitiv electronic care cuprinde o celulă fotoelectrică sau o fotodiodă pentru detectarea fasciculului luminos emis.

Principalul dezavantaj al măsurătorilor vizuale este că pot apărea erori substanțiale dacă observatorii nu au suficient timp pentru ca ochii lor să se acomodeze condițiilor (mai ales noaptea).

#### a. Instrumente care măsoară coeficientul de extincție

*Aparate tele-fotometrice:* un număr de tele-fotometre au fost proiectate pentru măsurarea coeficientului de extincție prin compararea luminanței aparente a unui obiect îndepărtat cu cel al fundalului cerului (de exemplu, tele-fotometrul Lohle), dar acestea nu sunt utilizate în mod normal pentru măsurători de rutină. Este de preferat să se utilizeze observații vizuale directe. Cu toate acestea, tele-fotometrele pot fi utile pentru extrapolarea domeniului de vizibilitate dincolo de cel mai îndepărtat obiect.

---

<sup>1</sup> <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=845-01-22>

*Aparate de măsurare a extincției vizuale:* un instrument foarte simplu, utilizat cu o sursă de lumină îndepărtată, pe timp de noapte, pe principiul unui filtru neutru gradual - care reduce lumina într-o proporție cunoscută putând fi ajustată până când este abia vizibilă. Instrumentul oferă o măsură a transparenței aerului dintre lumină și observator și astfel poate fi calculat coeficientul de extincție. Precizia generală depinde, în principal, de variațiile sensibilității ochiului și de fluctuațiile intensității radiante a sursei de lumină. Eroarea crește proporțional cu domeniul de vizibilitate. Avantajul acestui instrument este acela că permite măsurarea valorilor domeniului de vizibilitate pe o distanță de la 100 m până la 5 km, cu o precizie rezonabilă, folosind doar trei lămpi bine poziționate. Cu toate acestea, metoda de utilizare a unui astfel de instrument (determinarea punctului în care apare sau dispare o lumină) afectează în mod considerabil precizia și omogenitatea măsurătorilor întrucât estimarea distanței de vizibilitate se va considera distanța la care se află ultima sursă de lumină vizibilă / observată.

*Transmisiometre:* utilizarea unui transmisiometru este metoda cea mai frecvent utilizată pentru măsurarea coeficientului mediu de extincție într-un cilindru orizontal de aer între un emițător (care furnizează o sursă luminoasă de flux modulată, cu putere medie constantă) și un receptor încorporând un fotodetector. Sursa de lumină cea mai frecvent utilizată este o lampă cu halogen sau un tub de descărcare a pulsului xenon. Modularea sursei de lumină împiedică perturbarea cauzată de lumina soarelui. Factorul de transmisie este determinat la ieșirea fotodetectorului, ceea ce permite calcularea coeficientului de extincție și a domeniului de vizibilitate.

Estimarea transmisiometrului (în ceea ce privește distanța de vizibilitate) se bazează pe pierderea de lumină a unui fascicul colimat - care se datorează dispersiei și absorbției - și este strâns legată de definiția domeniului meteorologic de vizibilitate (MOR). Un transmisiometru bun, bine întreținut, care funcționează în limitele sale de acuratețe maximă, oferă o aproximare foarte bună relativ la valoarea reală a distanței de vizibilitate. Există două tipuri de transmisiometre:

- cele cu un emițător și un receptor ca module constructive distincte și aflate la o distanță cunoscută unul de celălalt;
- cele cu emițător și receptor în aceeași unitate, lumina emisă fiind reflectată de o oglindă sau de un retroreflector aflat la distanță (fasciculul luminos se deplasează către reflector, iar apoi se întoarce la unitate);

Distanța parcursă de fasciculul de lumină dintre emițător și receptor este cunoscută ca nivel de referință și poate varia de la câțiva metri până la 150 m (sau chiar 300 m) în funcție de gama de valori a domeniului de vizibilitate care trebuie măsurat și de aplicațiile pentru care trebuie utilizate aceste măsurători.

Ecuatie de bază pentru măsurarea domeniului de vizibilitate cu transmisiometrele este următoarea, prezentată mai în detaliu în capitolul 4 (sub-capitolul 4.1):

$$P = x \cdot \ln(0.05) / \ln(T) \quad (2.1)$$

unde  $x$  este domeniul de referință a transmisiometrului (în metri),  $T$  fiind factorul de transmisie (acesta fiind definit ca și raportul dintre fluxul luminos recepționat după ce a parcurs o distanță  $x$  și fluxul luminos măsurat la emisie - adică la distanța  $x = 0$ ). Valabilitatea acesteia depinde de ipotezele conform cărora aplicarea legilor Koschmieder

și Bouguer-Lambert sunt acceptabile și a faptului că coeficientul de extincție de-a lungul domeniului de măsurare a transmisiometrului este același cu cel al traiectoriei dintre un observator și un obiect aflat la distanța de observare.

Pentru validitatea măsurătorilor pentru o perioadă mai lungă de timp, fluxul luminos trebuie să rămână constant pe parcursul acestei perioade. Atunci când se utilizează lumină cu halogen, problema îmbătrânirii filamentului lămpii este mai puțin critică și fluxul rămâne constant o perioadă mai îndelungată. Unele transmisiometre utilizează sisteme de feedback (prin detectarea și măsurarea unei mici fracțiuni din fluxul emis), dând o mai mare omogenitate fluxului luminos, odata cu trecerea timpului, sau chiar și compensări în cazul unor modificări.

Multe transmisiometre de ultimă generație utilizează led-urile sau dispozitive laser ca surse de lumină. Se recomandă utilizarea luminii policromatice din spectrul vizibil pentru a obține un coeficient reprezentativ de extincție.

Instrumente LIDAR pentru vizibilitate - tehnologia LIDAR (LIght Detection and Ranging - detectarea și măsurarea luminii) poate fi utilizată pentru a măsura vizibilitatea atunci când fasciculul este orientat orizontal. Profilul de rezoluție a semnalului de dispersie retrogradă  $S$  depinde de semnalul de ieșire  $S_0$ , distanța  $x$ , coeficientul de dispersie retrogradă  $\beta$  și factorul de transmisie  $T$ , astfel încât:

$$S(x) \sim S_0 \cdot 1/x^2 \cdot \beta(x) \cdot T^2 \quad (2.2)$$

unde:

$$T = \int -\sigma(x) dx \quad (2.3)$$

În condiții de atmosferă omogenă (orizontală),  $\beta$  și  $\sigma$  sunt constante, iar coeficientul de extincție  $\sigma$  este determinat numai din două puncte ale profilului:

$$\ln (S(x) \cdot x^2 / S_0) \sim \ln \beta - 2 \sigma x \quad (2.4)$$

Într-o atmosferă neomogenă, cantitățile dependente de intervalul  $\beta(x)$  și  $\sigma(x)$  pot fi separate prin algoritmul Klett (Klett, 1985). Pe măsură ce domeniul de vizibilitate se apropie de 2000 m, acuratețea metodei lidar devine slabă.

## **b. Instrumente care măsoară coeficientul de dispersie a luminii**

Atenuarea luminii în atmosferă se datorează atât împrăstierii (dispersiei), cât și absorbției. Prezența poluanților în apropierea zonelor industriale, a cristalelor de gheață (ceață înghețată) sau a prafului, poate face ca termenul de absorbție să fie semnificativ. Cu toate acestea, în general, factorul de absorbție este neglijabil, iar fenomenul de dispersie datorat reflexiei, refracției sau difracției din picăturile de apă constituie principalul factor de reducere a vizibilității. Coeficientul de extincție poate fi apoi considerat ca fiind egal cu coeficientul de dispersie, iar un instrument pentru măsurarea acestuia din urmă poate fi utilizat pentru estimarea domeniului de vizibilitate.

Măsurătorile sunt realizate cel mai adesea prin concentrarea unui fascicul de lumină pe un volum mic de aer și prin determinarea, prin mijloace fotometrice, proporției de lumină dispersată într-un unghi solid suficient de mare și în direcții care nu sunt critice. Cu



condiția ca acesta să fie complet ecranat de interferențele altor surse de lumină, sau ca sursa de lumină să fie modulată, un instrument de acest tip poate fi utilizat atât în timpul zilei, cât și în timpul nopții.

În aceste instrumente se folosesc trei metode de măsurare: dispersia retrogradă, dispersie spre înainte (directă) și dispersia completă sub un unghi larg. În toate aceste instrumente, ca și în majoritatea transmisiometrelor, receptoarele cuprind celule fotodetectoare sau fotodiode. Lumina folosită este pulsată (spre exemplu descărcarea de intensitate ridicată în cazul xenonului); aceste tipuri de instrumente necesită doar un spațiu limitat (1 - 2 m în general). Acestea sunt, prin urmare, utile atunci când nu sunt disponibile obiecte/indicatoare vizibile sau surse de lumină (obiecte aflate pe marginea drumului). Întrucât măsurarea se realizează doar pe un volum foarte mic de aer, reprezentativitatea măsurătorilor pentru starea generală a atmosferei, la locul de desfășurare, poate fi pusă la îndoială. Cu toate acestea, reprezentativitatea poate fi îmbunătățită prin medierea unui număr de eșantioane sau măsurători. În plus, liniarizarea rezultatelor se realizează prin eliminarea valorilor extreme. Astfel de instrumente sunt adecvate pentru aplicații cum ar fi măsurători ale vizibilității pe autostrăzi, sau pentru a determina existența ceții, acestea fiind mai puțin sensibile la poluare comparativ cu transmisiometrele.

#### 2.1.4 Acuitatea vizuală

Soluția prezentată în lucrarea de față se dorește a fi aplicabilă în viața reală, iar rezultatele oferite de sistemul propus să fie în concordanță cu stimulii umani. După prezentarea metodelor și instrumentelor pentru măsurarea distanței de vizibilitate, e nevoie de înțelegerea efectului ceții asupra vederii. Prin urmare, orientarea către metodele aplicate de medicină la evaluarea acuității vizuale umane și adaptarea măsurătorilor obținute cu aparate/echipamente, este calea ce se impune în mod natural. Astfel, rezultatele furnizate de sistemele de măsurare automate vor fi validate cu rezultatele acuității vizuale obținute de un grup de indivizi, în aceleași condiții de măsurare (pentru aceeași scenă/obiecte vizualizate).

Cea mai cunoscută metodă clinică de apreciere a performanței vizuale este cea prin care se determină acuitatea vizuală, funcție a ochiului ce este evaluată obligatoriu înainte de acordarea dreptului de a conduce un automobil.

Acuitatea vizuală, sau rezoluția vizuală, se definește conform [3] sub două aspecte:

- Calitativ: Capacitatea de a vedea detalii deosebit de fine, care au o separare unghiulară foarte mică
- Cantitativ: Oricare din numeroșii indicatori de deosebire spațială, cum ar fi separarea unghiulară în minute de arc a două obiecte vecine (puncte sau linii sau alți stimuli specificați) pe care observatorul le poate percepe doar ca fiind separate.

Altfel spus, acuitatea vizuală este capacitatea ochiului de a percepe și distinge detalii de la o anumită distanță, aceasta evaluându-se cu ajutorul diagramei cu optotipuri cunoscută și sub denumirea de *tabela lui Snellen*, folosită pentru prima dată de oftalmologul de origine olandeză, a cărui nume îl poartă, în anul 1862. Vederea standard definită de Sneller presupune identificarea unui optotip de pe diagramă când acesta este privit sub un unghi de 5 minute de arc. Tabela lui Sneller este cea mai cunoscută din

domeniu dar au mai fost și alte propuneri, cum ar fi cea a lui Edmund Landolt care a propus simbolul „Landolt C”, simbolurile de pe tabelă fiind identice variind doar orientarea lor sau tabelul „Golovin-Sivtsev” propus de cei doi oftalmologii ruși a căror nume îl poartă și utilizat până la sfârșitul secolului trecut. Modelul Lea, utilizat în cazul copiilor sau modelul „Tumbling E” folosit în cazul persoanelor analfabete sunt alte exemple de sisteme de evaluarea a acuității vizuale.

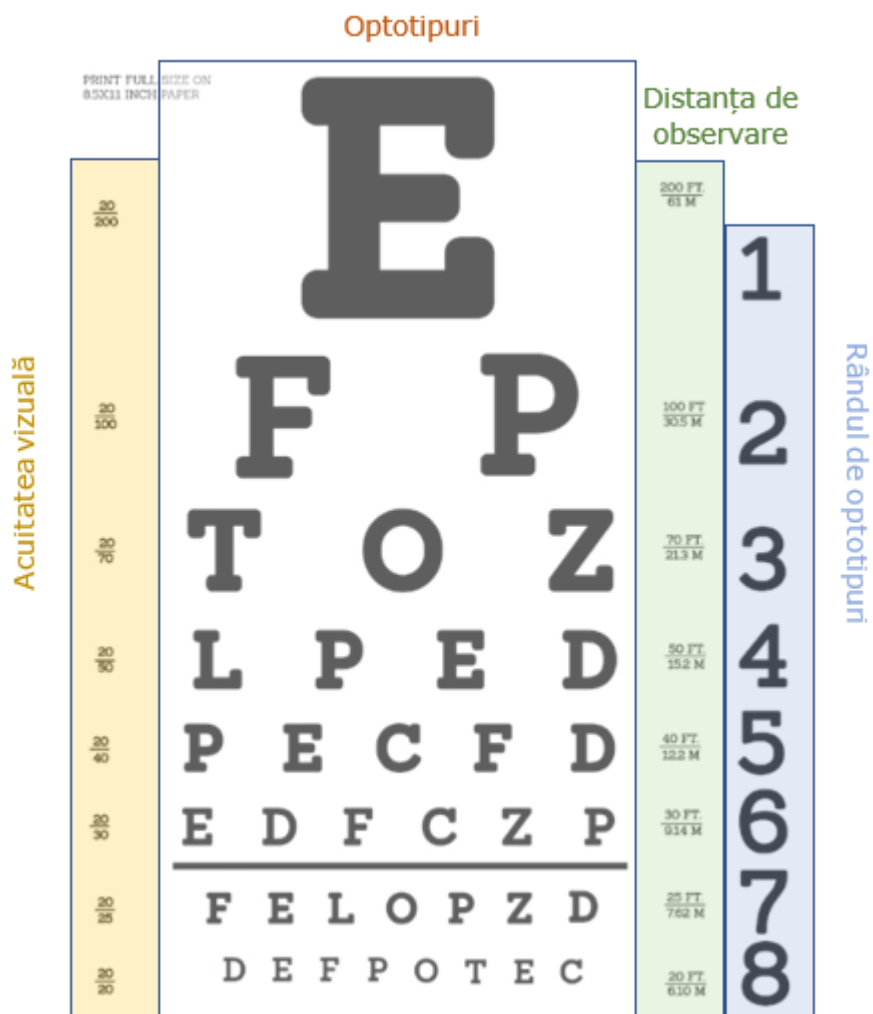


Fig. 2.2. Tabela lui Sneller

Modelul Snellen este compus din mai multe rânduri cu optotipuri (între 8 și 11 rânduri), având pe primul rând un singur optotip foarte mare, ca mai apoi pe rândurile

următoare numărul de optotipuri să crească dar dimensiunea lor să scadă. Optotipurile de pe tabela Sneller sunt de fapt litere mari de tipar, doar 9 litere fiind mai exact utilizate: C, D, E, F, L, O, P, T, Z. Acestea sunt caracterizate de o anumită geometrie – grosimea liniilor fiecărui optotip este egală cu grosimea spațiilor albe dintre linii și înălțimea fiecărui optotip este de 5 ori grosimea liniei sale. Aceste tabele cu optotipuri sunt utilizate în majoritatea cabinetelor oftalmologice, fiind considerate de autorul acestei teze soluția ideală pentru validarea rezultatelor generate de sistemele automate de măsurare a vizibilității.

Valoarea acuității vizuale a unui individ este dată de ultimul rând de optotipuri citite de pe diagramă. Acuitatea vizuală normală este indicată în cadrul evaluărilor ca și vederea 20/20 (sau 6/6 în valoare metrică sau 1.0 zecimal), ceea ce reprezintă că individul evaluat este capabil să citească ultimul rând de optotipuri de pe diagramă de la o distanță de 20 picioare/feet (1 foot = 30.48 cm) sau 6 metrii (rândul 8 din figura 2.2).

Conform normativelor europene, „persoanele care solicită un permis de conducere, sau reînnoirea acestui permis, trebuie să aibă o acuitate vizuală binoculară, dacă este necesar cu lentile de corecție, de cel puțin 0.5 când utilizează ambii ochi”, ceea ce înseamnă că individul evaluat trebuie să identifice cel puțin rândul 5 din tabela cu optotipuri din figura de mai sus (Fig. 2.2). Astfel valoarea acuității de 0.5 sau 20/40 devine etalon în experimentele de laborator sau pentru cele în condiții reale realizate. O densitate a ceții la o valoare care degradează acuitatea vizuală sub acest etalon va fi tratată ca și condiții meteo inpropii de a conduce un autovehicul pe drumurile publice.

Două cauze majore care pot influența percepția vizuală umană dar și evaluarea acuității vizuale, în cazul în care tabela cu optotipuri nu este corect proiectată, sunt luminozitatea și contrastul. Ochiul primește radiații, care formează imaginea, din mediul înconjurător și le transformă în impulsuri electrice, care sunt în continuare interpretate și percepute de creier. Percepția luminozității, contrastului și culorii nu este determinată pur și simplu de modelul și intensitatea radiațiilor de intrare, ci este o dinamică care caută cea mai bună interpretare a datelor disponibile.

Detectarea contrastului dintre un obiect și împrejurimile acestuia (sau între un optotip și spațiile albe din împrejurul acestuia, în cazul evaluării cu tabela Snellen) este esențială pentru vizibilitate. Ceața scade contrastul dintre obiecte și fundal, făcându-le mai puțin vizibile. Scăderea acestei valori sub un anumit prag înseamnă că obiectele nu mai pot fi detectate.

Dacă contrastul este răspunsul ochiului și creierului la intensitatea luminii, culoarea este senzația produsă de sistemul ochi-creier ca răspuns la lumina de intrare. Răspunsul de vârf preponderent al ochiului are loc la o lungime de undă de 550 nm. De aceea, culoarea verde este culoarea cea mai ușor de observat, lungimea de undă de 532nm fiind foarte aproape de valoarea de maximă sensibilitate (550nm).

Tehnologia a evoluat foarte mult în ultimele decenii și în cazul medicinei. Astfel, pentru a evita toate aceste neajunsuri ce pot apărea în cazul tabelelor de test, au apărut dispozitivele cu afișaj electronic care permit reglarea contrastului și a luminozității în funcție de condițiile din laborator, permit calibrarea dimensiunii optotipurilor în funcție de distanța de observare (minim 3 metrii este recomandarea) sau a culorii pentru testele în care se dorește o astfel de evaluare.

## 2.2 Ceața

Ceața este un fenomen meteorologic, ce se formează în masele de aer stabile unde au loc inversiuni de temperatură, fiind compusă din particule fine de apă aflate în suspensie în atmosferă. Aceasta se formează în apropierea solului, sub forma unui nor aflat în contact cu solul, având un efect negativ asupra vizibilității; în condiții de ceață vizibilitatea este redusă la mai puțin de 1 km, iar pentru distanțe de vizibilitate cuprinse între 1 km și 5 km vorbim de pâclă sau negură. Ceața se menține în atmosferă atâta timp cât viteza vântului și convecția sunt scăzute, în caz contrar ea este „împrăștiată”.

La baza formării ceții stau următoarele fenomene: realizarea stării de saturație, ceea ce reprezintă că numărul vaporilor din aer crește substanțial, fapt ce se datorează fie scăderii temperaturii, la o valoare cunoscută ca „punct de rouă”, fie prin creșterea umidității. Aflați în această stare, vaporii încep să se condenseze și trec din stare gazoasă în stare lichidă, formându-se astfel particulele de ceață.

Există mai multe tipuri de ceață, care se diferențiază prin modul de formare:

- Ceața de radiație – care mai este cunoscută și sub denumirea de „ceață joasă”, se formează în apropierea solului din cauza scăderii temperaturii (în general din timpul nopții), ce are ca și efect o răcire a maselor de aer ceea ce determină condensarea. De obicei această ceață se formează sub forma unor straturi având grosimi chiar și sub un metru, nefiind foarte densă.
- Ceața de advecție – se formează în momentul în care o masă de aer cald și umed este deplasată de un vânt slab și intră în contact cu o suprafață rece. Acest tip de ceață este adesea întâlnit pe litoral, unde umiditatea este deplasată spre zone mai reci.
- Ceața de evaporare – care mai este cunoscută ca și „ceața de râu”, se formează deasupra lacurilor, fluviilor, râurilor, mlaștinilor etc. în momentul în care aerul răcit la contact cu solul se deplasează deasupra acestor ape, aici încălzindu-se și umezindu-se prin evaporarea apei. Această ceață este de obicei densă, de grosimi ce pot ajunge la ordinul zecilor de metri.
- Ceața de amestec – se formează la întâlnirea a două mase de aer cu diferențe mari de temperatură, masa de aer cald fiind răcită. Pe lângă diferența mare de temperatură dintre cele două mase de aer, mai este nevoie și de o umiditate ridicată. În general acest tip de ceață are o densitate scăzută.
- Ceața de inversiune – se formează în momentul în care o masă de aer umed se ridică și se răcește brusc, ducând astfel la condensarea vaporilor de aer. Acest tip de ceață este adesea întâlnit la ridicarea aerului din văi înspre dealuri.

În funcție de concentrația particulelor, vizibilitatea în ceață poate varia de la apariția unei ușoare opacități până la vizibilitatea aproape zero. Multe vieți se pierd anual în întreaga lume în accidente în astfel de condiții de ceață, adesea având loc și coliziuni între mai multe vehicule.

Ceața este considerată drept una dintre cele mai critice probleme în domeniul transporturilor, deoarece siguranța pasagerilor necesită o bună vizibilitate a șoferilor. Putem considera diverse domenii de transport, aerian [4], maritim [5] sau pe sol [6] și vom observa că au existat întotdeauna probleme din cauza lipsei de vizibilitate cauzată de condițiile meteorologice. Prima metodă utilizată pentru estimarea densității ceții era

neautomatizată și consta în observarea realizată de observatorii umani. Munca lor era de a identifica obiecte sau forme geografice la distanțe cunoscute din jurul punctului de observare. Dar pentru că sistemul vizual este subiectiv, ochii au nevoie de o perioadă de adaptare, iar vizibilitatea la nivelul solului poate fi diferită și la schimbări mici de altitudine s-a dovedit că trebuie dezvoltate metode mai fiabile [7]. Tendința din ultimul deceniu a fost aceea de a se dezvolta sisteme automate de detectare a vizibilității care, aparent, sunt mult mai obiective și pot oferi rezultate fiabile 24 h/zi ([7], [8]). O metodă utilizată de obicei pe aeroporturi și autostrăzi este compusă dintr-un transmițător, un dispozitiv laser cel mai adesea, și un receptor optic care este capabil să determine distanța de vizibilitate bazat pe dispersia luminii. În domeniul maritim, monitorizarea de ceață se bazează în principal pe legătura dintre mediu și sateliții meteorologici. Se elaborează algoritmi de detecție automată a ceții pe baza unor variabile (NDSI - indice de zăpadă normalizat, BTD - diferența de temperatură a luminozității, NWVI - indexul diferenței normalizată infraroșu a vaporilor de apă) care sunt capabili să diferențieze ceața mării de nori [5]. Majoritatea încercărilor de a dezvolta un sistem fiabil au fost în domeniul auto și acestea pot fi împărțite în *abordări staționare* și *abordări mobile*. Prima categorie utilizează sisteme pentru controlul traficului, sau camere pe marginea carosabilului, bazate pe operații de procesare a imaginii capabile să evalueze distanța de vizibilitate. Ultima categorie se referă la sistemele de bord care sunt instalate pe mașini și notifică șoferii despre vizibilitate.

### **2.3 Orbirea cauzată de strălucirea soarelui și a farurilor**

După cum am precizat în partea introductivă, vizibilitatea este una dintre principalele nevoi pentru conducerea în condiții de siguranță. În subcapitolul anterior am tratat ceața ca și principală cauză a reducerii vizibilității pe drumurile publice, dar un impact, poate la fel de mare, asupra vizibilității șoferilor îl are strălucirea cauzată de razele soarelui, pe timpul zilei, sau de farurile celorlalți participanți la trafic ce se deplasează din sens opus, pe timpul nopții. Problema orbirii poate fi definită ca o pierdere sau reducere a performanțelor vizuale ale șoferului pentru o perioadă de timp, din cauza prezenței unei surse de lumină de o intensitate ridicată în raza vizuală a conducătorului auto, perioadă în care riscul de apariție a unui accident este foarte crescut. Problema orbirii cauzată de strălucirea farurilor noaptea sau/și probleme de orbire în tuneluri a fost abordată; firmele din domeniul automotive au lucrat intens și au dezvoltat o serie de soluții, utilizând noile tehnologii led și laser împreună cu sistemele de autoreglare a farurilor (auto-dimming), create chiar cu scopul evitării unor astfel de fenomene. Implicare, în rezolvarea acestui fenomen, a fost și din partea autorităților administrative, prin montarea pe autostrăzi (între cele două sensuri de circulație) a unor panouri ce elimină această strălucire. Pe de altă parte, în cazul orbirii cauzată de soare, cercetarea în domeniu este redusă, autorul tezei a propus un posibil sistem, în [9] și continuat în [10], capabil să rezolve această problemă, iar firmele automotive lucrează la un concept ce implică sticla inteligentă, sistem ce se ridică însă la un preț extrem de ridicat la momentul actual.

Apariția fenomenului de orbire cauzat de soare poate varia în funcție de perioada din an și de oră, acestea fiind determinate de poziția soarelui. Pentru cel de-al doilea caz, al orbirii cauzate de farurile altor participanți la trafic, fenomenul se intensifică în cazul

utilizării necorespunzătoare a fazei lungi sau poate fi influențat de locație, pentru anumite combinații de geometrie orizontală și verticală a drumului, cum ar fi întâlnirea unor vehicule ce se deplasează pe un deal, unul coborând și altul venind dinspre vale.

În acest subcapitol vor fi prezentate o serie de informații teoretice ce vor cuprinde și cercetări anterioare, prezente în literatura de specialitate. După cum am menționat deja, acest subiect al orbirii cauzate de soare a fost foarte puțin tratat până în prezent, de aceea explicațiile se vor concentra pe aspectele fizice ale strălucirii, modelarea poziției soarelui, și diverse abordări privind siguranța rutieră și exploatarea traficului în condiții meteorologice nefavorabile. De asemenea, în următoarea secțiune se pune accent pe înțelegerea efectului de orbire și problemele legate de acest efect.

### **2.3.1 Efectul de orbire**

O definiție a efectului de orbire este dată în literatură: "Lumina relativ puternică, sau senzația orbitoare de lumină relativ puternică, care produce neplăcere sau disconfort sau care interferează cu vizibilitatea optimă " [11].

Există trei aspecte ce trebuie avute în vedere când se discută despre efectul de orbire: primul este handicapul cauzat de orbire, al doilea este senzația de disconfort creată, iar al treilea este timpul de recuperare necesar.

Incapacitatea sau handicapul, cum l-am numit mai sus, cauzat de strălucire este un efect fiziologic care constă într-o reducere a vizibilității, cauzată de lumina împrăștiată în ochi [12]. Această dizabilitate reduce sau îngreuează vizibilitatea șoferilor pentru o perioadă scurtă de timp. Pe durata acestei perioade, chiar dacă este de scurtă durată, pot avea loc reacții neașteptate din partea participanților la trafic, cum ar fi frânarea bruscă sau o schimbare imprevizibilă a vitezei de deplasare care, nepercepute de șoferii afectați de orbire, pot avea ca și efect accidente sau chiar ciocniri în lanț.

Senzația de disconfort este un factor subiectiv al efectului de orbire. Acesta este influențat de alți factori precum iluminarea de la sursa de orbire sau unghiul luminozității ambientale raportat la linia de observare a individului [13]. Ceea ce se întâmplă în realitate este o tulburare cauzată ochiului, datorată absenței sau deformării vizibilității pentru o scurtă perioadă. În literatura științifică se poate găsi o scară pentru măsurarea gradului disconfortului de orbire [14], acesta pornind de la nivelul de abia observabil, până la insuportabil. Multe studii arată că șoferii afectați de fenomenul de orbire au fost nevoiți să încetinească pentru câteva secunde până când ochii și-au revenit la parametrii normali. Parametrii care influențează performanța vizuală a șoferilor sunt vârsta, sănătatea vizuală și intensitatea strălucirii orbitoare cauzată de razele soarelui sau de farurile celorlați participanți la trafic [15], [16], [17]. Prin urmare, persoanele în vârstă sau persoanele cu probleme de cataractă par a fi populația cea mai afectată de această problemă de orbire. Cu toate acestea, studiile efectuate investighează un singur parametru la un moment dat într-un mediu controlat (deși într-un caz reală sunt mai mulți parametrii care impactează vizibilitatea cum ar fi pragul de contrast al observatorului, iluminarea fundalului, adaptarea ochilor observatorului în condiții de zi sau noapte, intensitatea surselor de lumină sau caracteristicile fotometrice ale obiectelor țintă etc.), ceea ce nu este destul de relevant pentru a trage concluzii generale despre problema strălucirii.

Cel de-al treilea aspect, perioada de recuperare este timpul necesar pentru ca o persoană să își revină la performanța vizuală normală. În această perioadă, performanța vizuală a șoferilor este redusă. Acest fenomen fluctuează cu vârsta populației, astfel putem spune că cei mai în vârstă au nevoie de mai mult timp să se recupereze decât adulții și că adulții au nevoie de mai mult timp de recuperare decât tinerii, respectiv 2142 msec, 1189 msec și 789 msec conform [18].

### 2.3.2 Identificarea poziției Soarelui

Pentru a înțelege efectul de strălucire al soarelui, trebuie cunoscută poziția acestuia în vederea realizării unor corelații între poziția soarelui, perioada din an, ora din zi și geometria drumului. Strălucirea soarelui are un impact negativ mai intens asupra șoferilor în momentul în care poziția acestuia este joasă, în astfel de cazuri soarele fiind chiar pe direcția de observare a șoferilor, cel mai adesea nici parasolarul clasic nefiind de mare ajutor. De obicei la răsărit sau apus avem de-a face cu astfel de situații.

În ceea ce privește calculul poziției soarelui, sunt disponibili mai mulți algoritmi în literatură, [19], [20], [21] sau online [22]. Aceștia oferă caracteristici cum ar fi unghiul de declinație al soarelui (care este unghiul dintre razele soarelui și planul ecuatorial), unghiul de azimut solar (azimutul este măsurat în sensul acelor de ceasornic de la nordul geografic până la punctul de pe orizont aflat direct sub obiect), unghiul de elevație sau înălțare solară (altitudinea este măsurată vertical de la punctul respectiv de pe orizont până la obiect) și cosinusul unghiului de zenit solare. În figura următoare este reprezentată geometria solară; mai multe detalii referitoare la modelarea poziției Soarelui și identificarea acestuia sunt prezentate în capitolul 6.4 – Sistemul de urmărire a Soarelui.

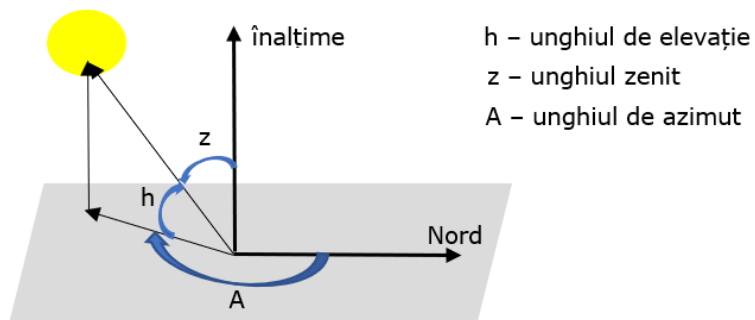


Fig. 2.3. Identificarea poziției Soarelui

De-a lungul ultimilor ani au fost dezvoltate mai multe metode pentru calcularea poziției solare. Datele furnizate de aceste metode sunt precise, dar pot fi luate în calcul doar o anumită perioadă de timp, fiind specifice unor anumite intervale din an și din zi.

Prima metodă este din almanahul astronomic, fiind publicată în fiecare an în S.U.A. și fiind extrem de utilă diverselor activități considerate de interes național, cum ar fi transportul naval. Astfel, precizia acestei metode este de așteptat să fie foarte ridicată. Almanahul astronomic [23] oferă o modalitate directă de a determina momentele de apus și răsărit ale soarelui. O altă metodă, prezentată de Duffie în [24], oferă poziția soarelui, dar și momentele de răsărit sau apus ale soarelui folosind o ecuație globală pentru timp. Ecuația timpului este măsura de calcul (în minute), prin care se determină cazul în care timpul solar este mai rapid sau mai lent decât timpul local standard. Ambele metode prezentate funcționează pentru o anumită perioadă, dar rezultatele oferite sunt aproximative. Pentru detecția radiației solare se folosesc diagrame ale căii sau direcției solare ("Sun-path diagram") [25], [26] care oferă un grafic al azimutului solar și a altitudinii solare pentru o anumită latitudine, în funcție de perioada din zi pentru diferite perioade ale anului.

Toate aceste metode sunt greu însă de implementat într-un mediu dinamic, pe o mașină, care pe parcursul călătoriei își schimbă orientarea geografică de nenumărate ori, geometria drumului având, de asemenea, o influență mare. Autorul tezei a prezentat în [9] și [10] un sistem, numit parasolar digital, capabil să detecteze poziția soarelui, influența razelor acestuia asupra șoferului și oferă posibilitatea de a diminua această influență negativă. Sistemul va fi prezentat mai detaliat în partea experimentală a acestei lucrări (capitolul 6).

## **2.4 Echipamente utilizate în cadrul experimentelor**

### **2.4.1 Generatorul de ceață**

Pentru realizarea efectului de ceață în vederea derulării experimentelor în laborator, s-a utilizat un generator de ceață. Efectele de ceață realizate utilizând soluții pe bază de apă au devenit printre cele mai frecvent utilizate efecte speciale în domeniile legate de divertisment, industria filmului, televiziune și parcurile tematice. Tehnologia anterioară folosea uleiuri minerale și lichide pe bază de kerosen care erau încălzite, dar s-a dovedit că aceste materiale puteau fi periculoase și dăunătoare sănătății celor aflați în apropiere. Realizarea unui lichid de ceață compus din apă și glicoli a fost privit de industrie ca o mare reușită, fiind oferită o distincție pentru realizarea tehnică de către Academia de Arte Cinematografice și Științe. Astăzi există mulți producători de sisteme de ceață, cu diverse variante de realizare și de control a acestui efect. Elementele de bază ale unui sistem de ceață (Fig. 2.4) sunt relativ simple: lichidul de ceață este transferat într-un schimbător de căldură cu ajutorul unei pompe. Schimbătorul de căldură menține o temperatură ridicată, la care lichidul se vaporizează, într-un proces cunoscut sub numele de "vaporizare bruscă". Pe parcursul acestui proces, fluidul se dilată rapid, ceea ce forțează deplasarea vaporilor prin duza mașinii. În momentul în care vaporii intră în contact cu aerul mai rece din afara mașinii, se formează instantaneu un aerosol opac - efectul numit ceață sau fum. Aceasta este versiunea scurtă a tehnicii utilizate acum de aproape toți producătorii de echipamente de ceață. Dar, există nenumărate diferențe între fluidele utilizate, mașini de generare și efectele de ceață pe care le produc.



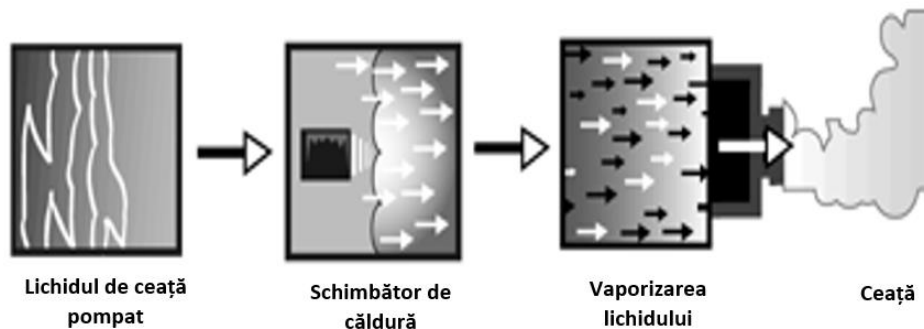


Fig. 2.4. Elementele de baza ale unui generator de ceață

Pentru un generator de ceață, pompa joacă un rol esențial, livrând lichidul către schimbătorul de căldură. Tipul pompei utilizate trebuie adaptat la designul schimbătorului de căldură. Dacă o pompă eliberează lichidul prea repede, încălzitorul se va opri relativ repede, deoarece se trece prea mult lichid prin blocul metalic al schimbătorului de căldură. Acest lucru duce la oprirea mașinii după o perioadă scurtă de generat ceață, blocul metalic având nevoie de timp pentru a se reîncălzi, ceea ce poate dura chiar și până la un minut.

Cele mai importante caracteristici pentru schimbatoarele de căldură sunt designul, materialul din care e realizat și puterea. În esență, schimbătorul de căldură este un bloc de metal cu un element de încălzire cu rezistență introdus în el pentru a încălzi metalul. Temperatura blocului este menținută la valoarea dorită folosind un termostat. În blocul metalic trebuie realizat un traseu prin care fluidul să treacă astfel încât acesta să se transforme în vapori. În alegerea materialelor pentru un schimbător de căldură, este important de luat în considerare faptul că metalele au caracteristici diferite de reținere a căldurii. Cel mai frecvent utilizat material este aluminiul, acesta putând fi topit și turnat într-o matriță, sau extrudat, fiind ușor de obținut designul dorit. Blocul poate conține un traseu drept prin care să treacă lichidul, cea mai simplă formă de design, sau poate avea un traseu spiralat. Un alt avantaj al aluminiului este faptul că se încălzește repede, dar pe de altă parte se și răcește foarte rapid. În cazul utilizării unui bloc metalic din aluminiu, pot fi realizate exploziile mari de ceață pentru perioade scurte de timp. Celălalt factor important în designul schimbătorului de căldură este controlul temperaturii de către un termostat. Dacă temperatura din schimbătorul de căldură nu este destul de ridicată, lichidul devine un aerosol, dar fiind umed este probabil să lase condens/umezeală. Dacă temperatura în schimbătorul de căldură este prea ridicată, lichidul poate "arde", ceea ce poate duce la schimbarea compoziției sale chimice. Un design bun al termostatului nu numai că va împiedica generatorul să se încălzească prea puternic, dar va asigura și că în cazul în care schimbătorul de căldură este prea rece pentru a vaporiza lichidul, pompa va fi dezactivată pentru a preveni generarea de ceață umedă.

Puterea, sau cantitatea de energie electrică utilizată pentru a încălzi blocul metalic, este specificația pe care majoritatea producătorilor o indică pentru a arăta cât de puternice sunt generatoarele de ceață. Deși este un indicator important, există și alți factori, cum

ar fi compoziția și designul materialelor, ce sunt la fel de critici pentru succesul producerii cu precizie a efectelor de ceață sau de fum.



Fig. 2.5. Mașina de generat fum FOG B-500

Niciuna dintre componentele ce stau la baza creării ceții nu este la fel de neînțeleasă sau subevaluată, ca fluidul folosit în proces. Lichidele de generare a ceții sunt fabricate dintr-o serie de glicoli amestecați cu apă. Glicolii sunt printre cele mai frecvent utilizate substanțe chimice din lume și se găsesc într-o serie largă de produse, de la cele alimentare la cele cosmetice. Echipamentele și fluidele de ceață sunt proiectate ca sisteme, astfel fiecare fluid poate necesita o temperatură specifică, în funcție de compoziția sa, pentru ca transformarea lichidului în aerosoli să fie optimă în timpul procesului de vaporizare.



Fig. 2.6. Analiza particulelor de ceață generate cu mașina de fum FOG B-500

În cadrul experimentelor realizate în laborator, pentru generarea ceții s-a folosit mașina de fum FOG B-500 (Fig. 2.5), dispunând de putere de 500W. Mașina are nevoie de un timp de încălzire (aproximativ 5 minute) și beneficiază de o telecomandă pentru declanșarea jetului de fum.

În imaginea de mai sus (Fig. 2.6) sunt evidențiate particulele de ceață generate cu ajutorul generatorului de ceață FOG B-500, acestea fiind captate cu un microscop Olympus BX51M. Un studiu mai amănunțit legat de dimensiunea particulelor, densitatea și forma lor este prezentat în subcapitolul 5.5.

### 2.4.2 Dispozitivul laser

Dispozitivul laser<sup>2</sup> este un dispozitiv optic care generează un fascicul de lumină coerent, cu alte cuvinte totalitatea undelor sunt transmise în același timp, ceea ce este caracteristic celorlalte surse de lumina. Principalele caracteristici ale fasciculelor laser sunt directivitatea, monocromaticitatea și intensitatea.

În cazul directivității, fasciculul laser beneficiază de avantajul de a se propaga pe distanțe mari, cu o divergență extrem de mică, lumina laser fiind de la început transmisă sub forma unui fascicul paralel. Cea de-a doua caracteristică a fasciculului laser, monocromaticitatea, se referă la utilizarea unui spectru foarte îngust de lungimi de undă, ceea ce survine din modul de funcționare al dispozitivului; prin utilizarea unui număr mic de fotoni inițiali care sunt apoi multiplicați printr-un proces de "copiere", rezultă un număr mare de fotoni identici. Cea de-a treia caracteristică, intensitatea sau puterea fasciculului laser, face acest dispozitiv să poată fi utilizat în diferite aplicații, de la aplicații de entertainment până la posibilitatea de a tăia metale sau alte materiale dure.

Dispozitivele laser sunt adesea utilizate în măsurarea vizibilității în condiții meteo nefavorabile, cunoscând puterea optică a semnalului transmis și măsurând-o apoi după parcurgerea unei anumite distanțe printr-un mediu încărcat cu particule. Există două abordări în realizarea acestor măsurători, prin transmisie directă și măsurarea puterii fasciculului după parcurgerea norului încărcat cu particule sau prin măsurarea puterii luminii reflectate din norul cu particule (back-scattering).

În cadrul experimentelor realizate în cadrul laboratorului s-au utilizat următoarele dispozitive, care au permis abordarea ambelor metode mai sus menționate:

- Laser pointer

Acest dispozitiv (fig. 2.7) a fost utilizat într-un prim model experimental cu scopul de a detecta pierderea și dispersia fasciculului laser într-un mediu cețos (detalii în subcapitolul 5.1). Funcționează la o lungime de undă de 635nm și oferă o putere optică maximă la ieșire de 1mW. Puterea optică a acestui dispozitiv variaza, pe măsură ce ledul se încălzește se poate observa o scădere drastică a puterii. Odata ce valoarea puterii optice a devenit de interes pentru experimentele realizate (evaluarea puterii optice după parcurgerea unui volum cețos) necesitatea unui dispozitiv de precizie, cu o putere constantă la ieșire a devenit vitală.

---

<sup>2</sup> <https://ro.wikipedia.org/wiki/Laser>

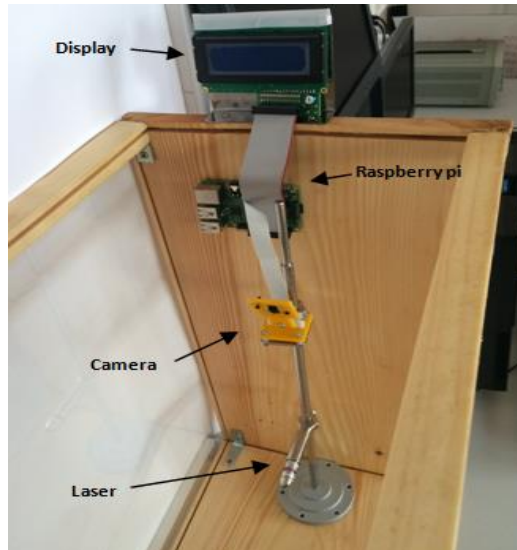


Fig. 2.7. Laser pointer într-un prim setup experimental

- Dispozitivul laser Lambda III-2 he-ne (măsurare directă)

Acest dispozitiv (fig. 2.8) a fost utilizat în cadrul experimentelor în care era necesară o putere constată la ieșirea dispozitivului, în scopul analizei influenței ceții asupra fasciculului laser. Dispozitivul este format dintr-un tub cu laser Helium-Neon care este un cilindru de sticlă umplut cu gaz la o presiune scăzută, cu o pereche de oglinzi la capete sale. Este un dispozitiv utilizat într-o varietate de aplicații și cea mai potrivită alegere a laserelor cu gaz, pentru experimente, din punct de vedere performanță-cost. Poate fi utilizat în diverse aplicații care implică optica geometrică, interferențe, difracție, polarizare etc.

Dispozitivul funcționează la o lungime de undă de 632.8nm, fiind capabil să ofere la ieșire o putere cuprinsă între 1mW și 1.5mW.

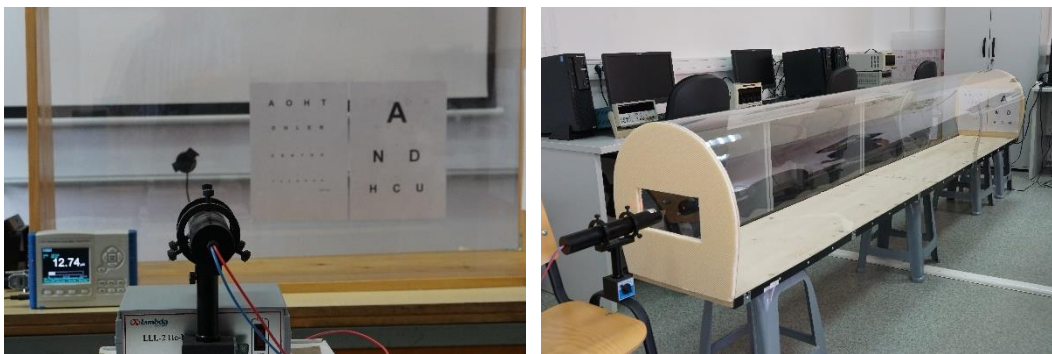


Fig. 2.8. Dispozitivul laser lambda III-2 he-ne

- Telemetru Bosch PLR 40c (back-scattering)

Telemetru digital este un dispozitiv optic utilizat pentru măsurarea distanței dintre locul în care este instalat și un obiect aflat la o distanță de măsurare accesibilă dispozitivului. Bosch PLR 40c (fig. 2.9 dreapta) este capabil să măsoare distanțe de până la 40 de metri cu o precizie de  $\pm 2\text{mm}$  cu un timp de măsurare de 0.5 sec. Modul de funcționare se bazează pe transmiterea unui fascicul de lumină roșie (632nm) care la întâlnirea celui mai apropiat obiect se reflectă. Măsurând timpul de întoarcere a fasciculului la dispozitiv se determină distanța până la obiectul respectiv. Am utilizat acest dispozitiv în cadrul experimentelor de laborator pentru a determina influența ceții asupra măsurătorilor și densitatea de la care ceața este interpretată ca și un obiect, fasciculul reflectându-se din ea.

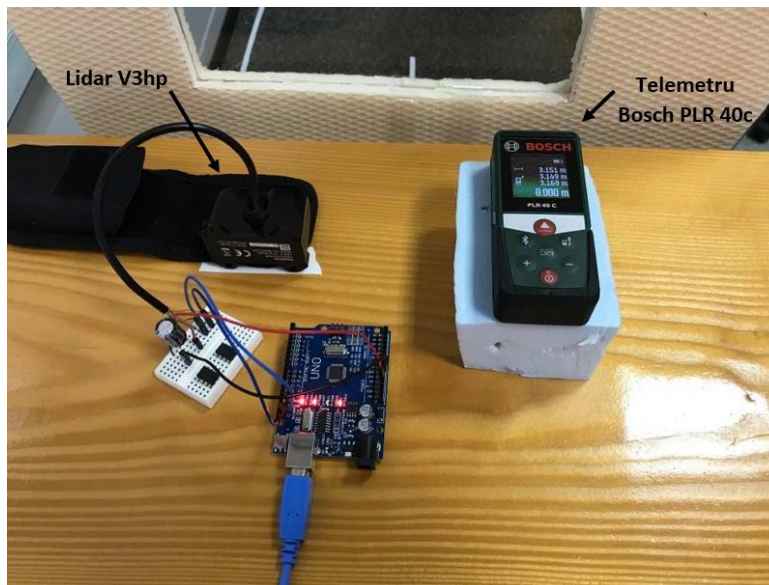


Fig. 2.9. Dispozitivul LIDAR Lite V3hp și telemetru Bosch PLR 40c

- LIDAR Lite V3hp (back-scattering)

Dispozitivul LIDAR (Light Detection And Ranging) la fel ca și telemetrul este un dispozitiv de măsurare a distanței. Funcționează tot pe baza transmiterii unui fascicul de lumină, înflorșu de această dată, și măsurarea timpului de întoarcere pentru a detecta distanța până la cel mai apropiat obiect. Lidar-ul transmite un număr extrem de mare de impulsuri în atmosferă (poate ajunge la 150.000 de impulsuri/secundă), în acest fel timpul de măsurare fiind mult mai mic comparativ cu telemetrul. Dispozitive lidar sunt deja instalate pe automobile cu scopul detectării obiectelor aflate în principal la o distanță redusă, determinarea condițiilor meteo reprezentând o nouă funcționalitate ce poate fi implementată folosindu-ne de același dispozitiv și de datele achiziționate de acesta. În cadrul experimentelor s-a folosit dispozitivul Lidar Lite V3hp (fig. 2.9), care oferă o rată de eșantionare de 1kHz, fiind capabil să realizeze măsurători între 5cm și 40m (cu o acuratețe de  $\pm 2\text{cm}$ , la distanțe de măsurare mai mari de 2m), funcționând la o lungime



de undă de 905nm. Ca și interfață de comunicare cu dispozitive de achiziție și prelucrare a datelor, folosește protocolul I2C.

### 2.4.3 Dispozitiv de măsurare a puterii optice

Pentru măsurarea și monitorizarea puterii optice a fasciculului de lumină în diferite condiții de ceață, s-a folosit receptorul optic "Newport Power Meter Model 1918-c"<sup>3</sup> (fig. 2.10).

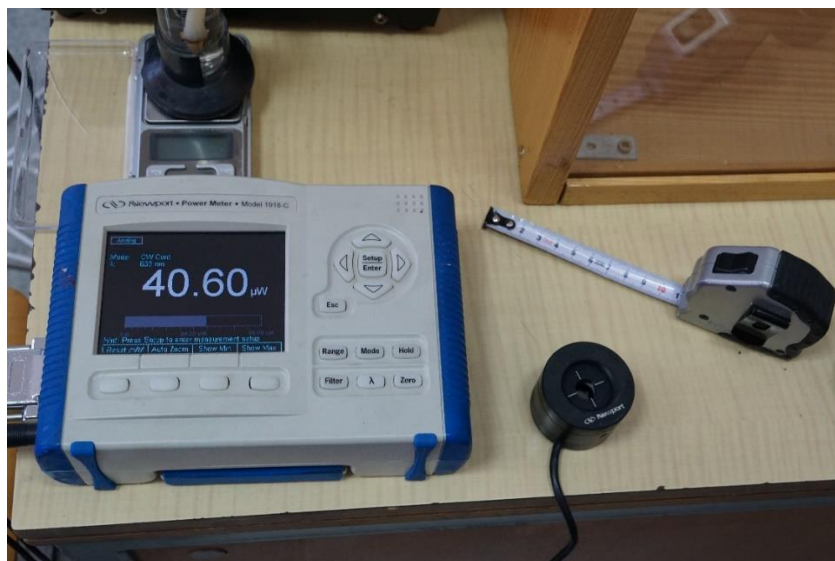


Fig. 2.10 Receptorul optic Newport Power Meter Model 1918-c

Acest dispozitiv oferă posibilitatea realizării unor măsurători de înaltă precizie și o interfațare ușoară cu alte instrumente: control de la distanță de la un computer, sincronizarea cu alte dispozitive prin includerea driverelor LabVIEW sau de transfer a datelor printr-o interfață USB de mare viteză (11 Mbps).

Dispozitivul de măsurare a puterii optice este compus dintr-o fotodiodă și o unitate centrală care prelucrează datele, le afișează și oferă posibilitatea de a le stoca sau transmite unui alt dispozitiv. Printre caracteristicile acestui instrument ar fi rata de măsurare de până la 4 kHz (rata internă este de 250 kHz), posibilitatea de aplicare a unor filtre analogice sau digitale asupra unui semnal detectat, posibilitatea de selectare a lungimii de undă a semnalului ce se dorește a fi măsurat, posibilitatea de a afișa măsurătorile în diferite unități de măsură (Watt, Joule, Amper, Volt, Hertz, dBm, dB sau unități relative fie direct, fie ca raport relativ la măsurători stocate), capacități statistice de calcul a deviațiilor (min, max, max-min, mediu, standard).

<sup>3</sup>[https://www.artisan-g.com/info/PDF\\_4E6577706F72745F31393138435F4D616E61756C.pdf](https://www.artisan-g.com/info/PDF_4E6577706F72745F31393138435F4D616E61756C.pdf)

#### 2.4.4 Camera foto/video

Utilizarea camerelor foto/video în industria auto a început în urmă cu aproximativ două decenii, în special pe mașinile de lux, dar astăzi sunt ceva comun pe mașinile comerciale, iar în ani ce vor urma aceste echipamente vor deveni indispensabile automobilelor autonome.

Utilizarea camerelor pe automobile a început cu funcționalități ce țin de partea de confort: pentru a ajuta șoferii în momentul parcării, avertizându-i dacă se apropie prea mult de un anumit obstacol sau în sistemele ADAS, un exemplu fiind funcționalitate de "line assist", mașina fiind capabilă să urmărească linia de marcaj a drumului cu ajutorul camerelor; camerele capătă însă o importanță tot mai mare și pe partea de securitate, atât împotriva furturilor, în momentul în care mașina este parcată iar camerele o "supraveghează" (posibilitate de vizibilitate la 360 de grade), dar și în trafic, camerele interioare care monitorizează reacțiile șoferilor și îi avertizează în caz de oboseală și poate lua chiar și acțiuni cum ar fi frânarea. Uitându-ne spre viitor, în cazul automobilelor autonome, camerele sunt utilizate în detectarea pietonilor sau a semnelor de circulație, informația primită de la ele fiind vitală. O altă funcționalitate a camerelor, de maximă importanță pentru automobilele autonome, va fi prezentată în capitolele următoare și se referă la detectarea condițiilor meteo nefavorabile și estimarea distanței de vizibilitate în astfel de condiții.

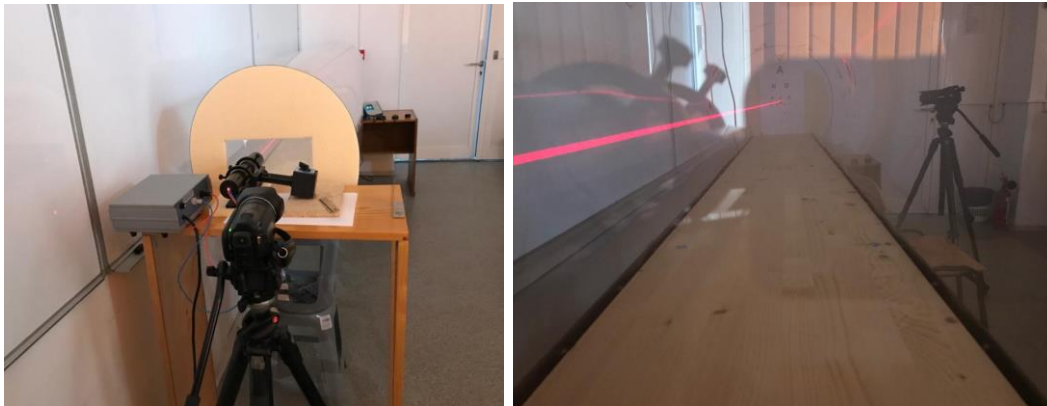


Fig. 2.11 Camera video Canon HF G10 pentru a) monitorizarea acuității vizuale; b) monitorizarea pierderii fasciculului laser în ceață

În cadrul experimentelor de laborator s-au folosit diverse camere foto/video: pentru primele teste s-a folosit o cameră de 5 megapixeli care poate realiza fotografiile în formate de 1080p și 720p, conectată la un Raspberry pi (fig. 2.7); apoi, având nevoie de performanțe mai bune pentru monitorizarea optotipurilor (prin algoritmi OCR), s-a utilizat o cameră full HD cu rezoluție de 13 megapixeli; pe măsură ce s-a înaintat cu cercetarea a crescut și complexitatea, astfel pentru a realiza o paralelă între acuitatea vizuală umană și rezultatele oferite de o camera video, dar și pentru a monitoriza în timp real efectul ceții asupra fasciculului laser în momentul evaluării puterii optice, s-a apelat la o camera

Canon HF G10<sup>4</sup> (fig. 2.11), ce oferă capacități profesionale; camera beneficiază de un procesor de imagine DIGIC DV III care lucrează cu senzorul HD CMOS Pro, un senzor de imagine de 1/3" 2.07MP, ce oferă rezoluție video foarte bună și performanțe în condiții de lumină scăzută (luminanța minimă de 0.1 lux), caracteristică utilă pentru experimentele în diverse condiții de ceață combinate cu condițiile nocturne.

## **2.5 Concluzii parțiale și contribuții**

În capitolul de față s-a prezentat terminologia ce stă la baza cercetării din această lucrare, legată de vizibilitate (domeniu de măsurare, metode și instrumente), ceață (tipuri, formare și compoziție), acuitatea vizuală și efectul de orbire cauzat de razele soarelui și de luminile celorlalți participanți la trafic. În ultimul subcapitol (2.4) sunt prezentate echipamentele utilizate pentru realizarea experimentelor de laborator, de la generarea de ceață, transmiterea și măsurarea undelor optice, plus camerele video utilizate pentru monitorizarea experimentelor și măsurarea acuității vizuale.

Evidențierea fenomenelor, a echipamentelor și caracteristicilor acestora, necesare experimentelor și măsurătorilor pentru aprecierea și influențarea vizibilității în condiții meteo diferite, corelate cu acuitatea vizuală umană determinată de sistemul medical prin metode specifice, reprezintă contribuțiile acestui capitol.

---

<sup>4</sup> <https://www.cnet.com/products/canon-vixia-hf-g10-black/specs/>



## **3 METODE ȘI SISTEME UTILIZATE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA VIZIBILITĂȚII ÎN CONDIȚII DE CEAȚĂ**

Ceața, ploaia, ninsoarea, burnița și orbirea cauzată de soare sunt fenomene naturale ce pot fi foarte periculoase pentru șoferi, reducându-le sau chiar îngrădindu-le vizibilitatea. Pe lângă problema vizibilității care are ca și efect o creștere a timpului de reacție a șoferilor, aceștia trebuie să ia în considerare și viteza cu care se deplasează pentru a fi capabili să oprească mașina în condiții de siguranță în cazul în care un obstacol apare pe carosabil. Principalele efecte ale ceții sunt scăderea contrastului și diminuarea intensității culorilor. Ploaia și ninsoarea cauzează de asemenea perturbații în vizibilitatea șoferilor în timp ce orbirea cauzată de soare poate fi extrem de periculoasă chiar și dacă are loc doar pentru o foarte scurtă perioadă de timp, șoferul fiind lipsit în acele clipe de orice orizont, mai mult de atât ochiul are mai apoi nevoie de câteva momente pentru a-și reveni după acest șoc de lumină. În domeniul mașinilor autonome, extenuat de vehiculat în ultimii ani, vizibilitatea este de maximă importanță. Pentru rezolvarea problemelor enunțate mai sus, o serie de cercetători au abordat subiectul și au oferit mai multe soluții și metode, de aceea este extrem de utilă analiza preocupărilor din domeniu, din ultimii zece ani. Această sinteză împreună cu evoluțiile tehnologice din domeniul senzorilor, al comunicațiilor, al procesărilor de date pot fi baza unor noi posibilități de abordare a problemelor. În acest capitol sunt prezentate metode și sisteme care au ca scop detectare sau îmbunătățirea vizibilității în condiții de vreme nefavorabilă. Principalul punct de analiză este fenomenul de ceață, aici sunt prezentate cercetări publicate bazate pe metode de prelucrări de imagini, măsurări ale puterii optice, rețele de senzori etc.

### **3.1 Introducere**

Adaptarea vitezei de deplasare a autovehiculelor la condițiile meteorologice este una dintre principalele căi de reducere a numărului de accidente pe drumurile publice. Vizibilitatea scăzută cauzată de condițiile meteo în timpul condusului s-a dovedit a fi unul dintre principalii factori ai accidentelor. Cercetările din ultimul deceniu din domeniul vizibilității în condiții de vreme nefavorabilă, au adus îmbunătățiri ale diverselor sisteme prezente pe mașină cum ar fi noile tehnologii de faruri bazate pe led sau laser, sisteme care își adaptează directivitatea fasciculului de lumină în timp real pentru a nu-i deranja pe ceilalți participanți la trafic etc.

În cazul ceții, din păcate, aceste îmbunătățiri nu sunt suficiente iar până în prezent nu există, pe mașinile comercializate, niciun sistem fiabil și stabil care să rezolve această problemă a vizibilității. Există metode bazate pe prelucrare de imagini - detecția marcajelor rutiere, a semnelor de circulație sau a pericolelor cum ar fi pietoni sau diverse obiecte de pe carosabil [27], metode de eliminare a ceții din imagini și refacerea unei

imagini clare [28], segmentarea imaginii sau metode de învățare automată [29]- [30]. Alte metode se bazează pe evaluarea puterii optice a unei surse de lumina (transmisie directă sau reflexie), analizând dispersia, reflexia sau refracția fasciculului [31] - [32]. Există de asemenea abordări ce folosesc sisteme deja instalate pe vehicule cum ar fi ADAS (Advanced Driver Assistant Systems), LIDAR (LIght Detection And Ranging), radare, camere, diferiți senzori [33] [34] [35] sau chiar abordări bazate pe sateliți geostationari [36]. Camerele oferă rezultate de încredere în condiții meteo bune, dar eficiența lor scade în momentul în care condițiile meteo se degradează (ceață, ploaie, ninsoare sau orbire cauzată de soare).

Marile companii din domeniul automotive din întreaga lume lucrează în acești ani la dezvoltarea unei tehnologii care va schimba complet modul de condus cunoscut astăzi – autovehiculul autonom [37]. Când acesta va fi lansat pe drumurile publice, așteptarea va fi ca numărul de accidente să scadă considerabil. Dar este important, de asemenea, să analizăm cum s-ar comporta un vehicul autonom, în condiții de vreme nefavorabilă, cu sistemele de siguranță disponibile momentan: pierderea aderenței, probleme legate de stabilitate și poate cel mai important factor e legat de scăderea sau chiar lipsa vizibilității – semne de circulație, semafoare sau marcaje rutiere nevizibile, pietoni neidentificați [38], obiecte sau alte vehicule pe carosabil neidentificate [39], lipsa vizibilității cauzată de razele soarelui [9], [10] etc. Există deja mai multe exemple care să susțină îngrijorarea, dintre acestea merită menționat autovehiculul autonom dezvoltat de Google care nu a trecut testele în condiții de vreme nefavorabilă în anul 2014. Actualul termen de lansare a vehiculelor autonome este foarte aproape, anul 2020 pentru vehiculele autonome de nivel 3, 2025 pentru cele de nivel 4 și 2030 pentru cele de nivel 5 (nivelele de autonomie sunt descrise în subcapitolul 1.1); aceste termene au fost deja anunțate de multe companii, iar în timpul rămas este obligatoriu să se găsească o soluție fiabilă la această problemă a vizibilității, deoarece aceste vehicule vor lua decizii exclusiv pe baza semnalelor primite de la camere sau senzori iar în caz de îndoieli trebuie să semnaleze șoferul să preia controlul (în cazul nivelului 3).

În figura 3.1 este prezentată o imagine de ansamblu asupra metodelor și sistemelor din literatură legate de îmbunătățirea vizibilității și detectarea ceții. Practic, în prima categorie metodele se bazează pe prelucrarea imaginilor, în cea de-a doua se bazează pe măsurători de putere optică sau procesare de imagini. Scopul acestei analize este prezentarea avantajelor și dezavantajelor fiecărei metode pentru a identifica noi căi de îmbunătățire sau corectarea a metodelor actuale. După cum se poate observa în figura de mai jos (fig. 3.1), propunerea noastră de sistem este o combinație dintre cele două categorii, în acest fel dezavantajele uneia pot fi acoperite de cealaltă și vice-versa. Un ultim pas, dar unul foarte important, ar fi verificarea faptului că rezultatele oferite de aceste sisteme sunt valide pentru oameni și adițional că pot fi folosite de către autovehiculele autonome.

Acest capitol este structurat după cum urmează: în subcapitolul 3.2 sunt prezentate metode referitoare la îmbunătățirea vizibilității, în subcapitolul 3.3 sunt prezentate metode referitoare la detectarea ceții, iar în subcapitolul 3.4 senzori și sisteme care detectează ceața și realizează măsurarea vizibilității într-un mediu cețos. În subcapitolul 3.5 sunt prezentate cercetări ce asigură legătura între rezultatele obținute cu ajutorul sistemelor automate prezentate în primele subcapitole și stimulii umani pentru a înțelege aplicabilitatea lor la momentul actual, când șoferul este cel care trebuie să ia acțiunile/deciziile pe baza informațiilor primite de la aceste sisteme dar și pentru viitor

când vehiculele autonome vor lua decizii pe baza aceluiași informații. În subcapitolul 3.6 sunt prezentate o serie de concluzii referitoare la stadiul actual dar și la tendințele de viitor pentru aceste sisteme de vizibilitate în condiții de vreme rea.

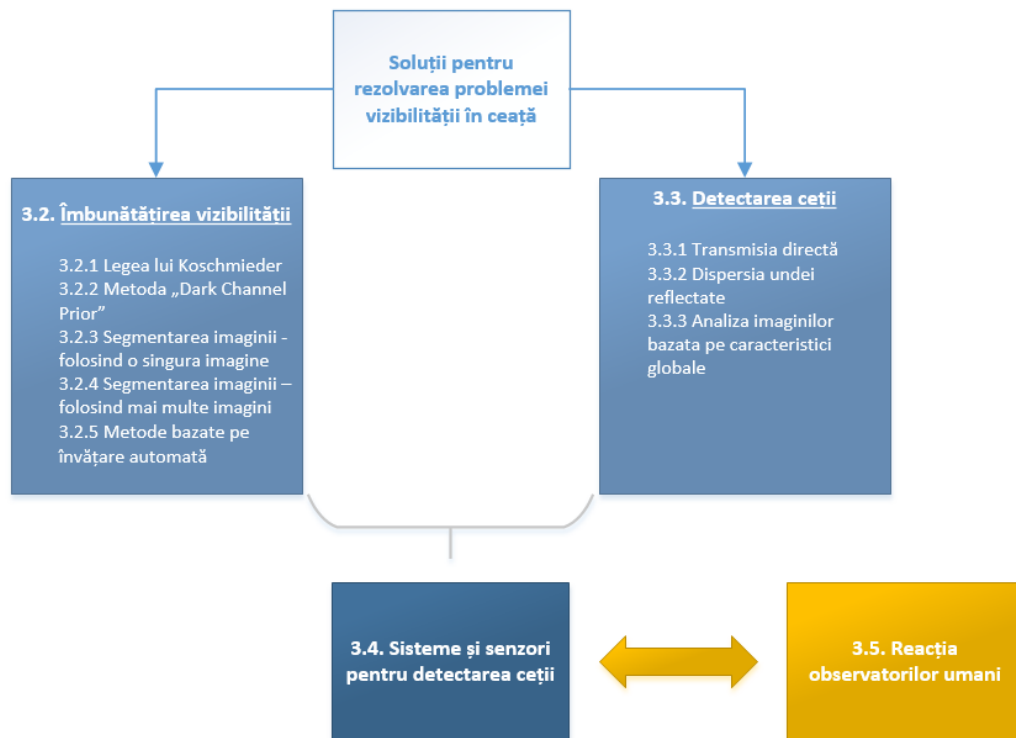


Fig. 3.1. Privirea de ansamblu asupra metodelor și sistemelor actuale referitoare la problema lipsei vizibilității cauzate de ceață

## 3.2 Metode de îmbunătățire a vizibilității

În ultimul deceniu, a existat un interes deosebit în ceea ce privește îmbunătățirea vizibilității în condiții meteo nefavorabile și mai ales în condiții de ceață. Metodele se bazează pe algoritmi de procesare a imaginilor și pot fi împărțiți în două categorii: procesarea imaginii folosind o singură imagine de intrare (una dintre primele abordări a fost prezentată de Tarel și Hautiere în [40]) și folosirea mai multor imagini la intrare ([41]). Utilizarea mai multor imagini de intrare (cu aceeași scenă) nu este, de obicei, practică în aplicațiile reale, motiv pentru care îndepărtarea ceții dintr-o singură imagine a primit mai multă atenție în perioada recentă.

### 3.2.1 Legile lui Koschmieder (Koschmieder Law)

Koschmieder a fost unul dintre primii cercetători care au tratat fenomenul degradării vizibilității din cauza condițiilor meteorologice [42]. El a studiat atenuarea luminii în atmosferă și a propus o lege referitoare la contrastul aparent al unui obiect pe fundalul atmosferic (cerului). Primele abordări dedicate sistemelor de transport au început în 2005, din care au fost derivate multe alte metode, aparțin lui Hautière și echipei sale de cercetare ([43], [44], [45], [40], [46], [47] etc.).

Negru începe în [48] și continuă în [49] prezentarea unei metode de refacere a imaginilor cu ceață, bazată pe legea lui Koschmieder, care calculează atenuarea luminanței în atmosferă. Scopul final al acestei cercetări este implementarea unui algoritm care să elimine ceața din imaginile capturate dintr-un vehicul aflat în mișcare și să informeze șoferul despre densitatea ceții și viteza adecvată (recomandată) pentru acele condiții meteo. Primul pas al acestei metode ar fi aplicarea unui detector de muchii Canny-Deriche asupra imaginii originale urmat de estimarea liniei de orizont și al punctului de inflexiune al imaginii pentru a indica dacă ceața este prezentă. Dacă aceasta este detectată atunci coeficientul de extincție este calculat, distanța de vizibilitate este estimată și ceața este clasificată pe baza densității. Metoda dă rezultate bune pentru drumuri libere, drept unde vizibilitatea camerei nu este obstrucționată. Mai târziu, Negru și colab. au propus în [50] o metodă de restabilire a contrastului spre a fi utilizată într-un sistem ADAS. Metoda ia în considerare degradarea exponențială a unei imagini cu ceață. Autorii prezintă o metodă ingenioasă de filtrare, aplicând un filtru median doar pe coloanele imaginii, ceea ce crește claritatea imaginii reconstruite. Avantajele acestei metode sunt performanțele sale în aplicații în timp real și posibilitatea utilizării algoritmului pe un dispozitiv mobil, fiind o soluție rentabilă. Metoda nu oferă rezultate fiabile pentru anumite cazuri specifice, un exemplu fiind imaginile cu o profunzime constantă a scenei observate.

O metodă bazată pe o versiune modificată a modelului lui Koschmieder este prezentată în [51], unde efectul atmosferic al ceții este în primă fază modelat. Apoi, pâcla (vălul) atmosferică este estimată folosind principiul metodei „dark channel prior” (va fi descris în subcapitolul următor) ca mai apoi să se aplice o transformare exponențială pentru îmbunătățirea acurateții estimării. Ipoteza autorilor este că o imagine nu este afectată de ceață în toate regiunile, de aceea este utilizată o transformare non-liniară pentru a nu afecta regiunile fără ceață în timpul procesului de refacere al imaginii. În final, fiecare pixel din imagine este reconstruit cu ajutorul versiunii modificate a legii lui Koschmieder. Fiind o funcție liniară a numărului de pixeli de intrare, complexitatea este scăzută ceea ce o face potrivită să fie utilizată în aplicații ce necesită prelucrare în timp real. Comparând metoda cu alte metode din literatură, din punct de vedere al calității, se dovedește faptul că cea propusă în lucrarea [51] are rezultate mai bune în ceea ce privește refacerea detaliilor și muchiilor din imagini, iar culoriile imaginilor prelucrate sunt mai puțin afectate comparativ cu [52] și [40]. Evaluarea din punct de vedere al cantității a fost realizată ținând cont doar de doi parametri: rata de muchii vizibile adăugate după procesul de reconstrucție și rata de pixeli care au devenit saturați după proces. Metoda prezentată are rezultate comparabile cu cele două metode menționate mai sus ([48] și [49]), performanțele fiind strâns legate de imaginea originală (cu ceață).

În [53] este propusă o metodă de refacere a imaginilor cu ceață, cu scopul de a fi introdusă în sistemele ADAS. Munca a fost începută în 2012 de Tarel și colab. în [46], unde este expusă ideea utilizării unui Head-up display (HuD) în mașină care să îl ajute pe șofer să vadă în spatele ceții, prin „limpezirea” imaginilor achiziționate și prelucrate în timp real cu ajutorul modelului propus de Koschmieder și afișarea lor cu ajutorul HuD. În timpul experimentelor a fost testat timpul de reacție al șoferilor pentru a se înțelege necesitatea și aplicabilitatea unui astfel de sistem. Rezultatele din laborator, prezentate în urma a trei sesiuni experimentale, sunt doar un punct de plecare, fiind necesară testarea sistemului pe drumuri publice, în condiții reale pentru a-i dovedi fiabilitatea și robustețea. Un astfel de sistem este fezabil spre a fi utilizat în condiții de ceață de densitate redusă; în momentul în care densitatea ceții va crește sistemul va deveni inutil pentru șoferi, nefiind capabil să elimine ceața și să ofere imagini clare.

Metodele bazate pe legea lui Koschmieder sunt aplicabile doar în condiții de zi, astfel nu se poate discuta de un sistem utilizabil în domeniul automotive bazat pe aceste principii, întrucât una dintre cerințele obligatorii pentru un astfel de sistem ar fi să ofere rezultate fiabile 24h/zi.

### **3.2.2 Metoda „Dark channel Prior”**

Unul dintre cele mai influente articole din domeniul eliminării ceții dintr-o singură imagine a fost publicat de He în [54]. Metoda prezentată de acesta, „dark channel prior”, se bazează pe o statistică a imaginilor fără ceață, din mediul exterior. Ideea acestei metode este faptul că cel puțin unul dintre canalele unei imagini color are o intensitate foarte scăzută a unor pixeli (aceștia tind către zero), în părțile de imagine unde cerul nu este prezent. Pe baza acestei ipoteze, se poate estima grosimea ceții și poate fi reconstruită o imagine de înaltă calitate, fără ceață, prin modelul dispersiei atmosferice. Avantajele acestei metode ar fi simplitatea și eficiența ei dar pe de altă parte, fiind o metodă statistică nu poate fi aplicată în anumite cazuri specifice cum ar fi imaginile în care obiectele din scenă sunt similare cu lumina atmosferică, aceste obiecte vor fi ignorate.

Yeh și colab. au prezentat în [55] și [56] două metode bazate pe aceeași idee expusă mai sus: „pixel-based dark channel prior” și „pixel-based bright channel prior”. Ei au identificat trei dezavantaje ale metodei expuse de He – acuratețe scăzută, complexitate de calcul ridicată în cazul în care se aplică pe ferestre mai mari din imagine și complexitatea de calcul ridicată pentru valorile din harta de transmisie – ce vor fi corectate cu metodele propuse în această lucrare. Metoda prezentată în această lucrare urmează pașii: lumina atmosferică se estimează prin analiza densității ceții (opacității), apoi utilizând un filtru bilateral se estimează harta de transmisie iar mai apoi aceasta se rafinează. Rezultatele experimentale arată că metoda prezentată în această lucrare are performanțe mai bune decât metoda lui He ([54]) în ceea ce privește reconstrucția imaginilor cețoase, oferă mai multe informații legate de culoare, iar timpul de prelucrare este mai redus. Performanțele ridicate în ceea ce privește informația de culoare face ca imaginile prelucrate să pară mult mai naturale comparativ cu alte metode din literatură. În ceea ce privește eliminarea ceții din imagine, algoritmul a fost comparat cu alte trei metode ([54], [57], [58]) din punct de vedere al calității vizuale și a fost evaluat de 10 subiecți. După analiza a 50 de imagini prelucrate cu aceste patru metode a reieșit faptul

că metoda propusă este superioară celorlalte. Autorul plănuiește să extindă utilizarea algoritmului și pentru video, în ideea de a îl integra într-un sistem de asistență a șoferilor (ADAS).

Huang și colab. au analizat în [59] lucrarea lui He ([54]) și au clasificat dezavantajele acestei metode în trei categorii - efecte de halo (aureolă), distorsionarea culorilor în imaginea refăcută și hartă de transmisie insuficientă - și a dezvoltat o metodă nouă prin care dorește rezolvarea acestor probleme. Metoda propusă se bazează pe trei module: estimarea adâncimii scenei, analiza culorilor și restaurarea vizibilității. Rezultatele experimentale ale acestei abordări sunt comparate cu abordarea lui He ([54]), luând în considerare patru domenii: rezultatele transmisiei rafinate (curățate), rezultatele transmisiei îmbunătățite, rezultatele eliminării ceții și evaluarea cantitativă. Analiza pe aceste patru zone a demonstrat că metoda propusă obține rezultate mai bune comparativ cu metoda lui He, fiind o metodă eficientă de restabilire a vizibilității, propusă pentru a fi aplicată în condiții meteorologice diferite într-un mediu real.

În [60] este prezentată o nouă metodă prin care se elimină ceața dintr-o singură imagine și în același timp se îmbunătățește claritatea. Harta de transmisie în acest caz este formată dintr-o combinație de hărți de transmisie - cea a canalului întunecat (dark channel prior) pe de o parte și cea metodei bazate pe pixel de un punct unic (single point pixel) pe de altă parte. Apoi pentru îmbunătățirea acestei fuziuni a hărților se aplică o funcție kernel gaussiană. Marele avantaj al acestei metode este viteza de prelucrare ridicată, datorată complexității scăzute (funcție liniară a numărului de pixeli din imaginea de intrare) fiind adecvată pentru aplicații ce presupun procesare de date în timp real cum ar fi sistemele ADAS. De asemenea e capabilă să elimine complet fenomenul de halo, asigurând o bună calitate vizuală. Comparativ cu metoda din [54], cea propusă aici oferă mai multe informații în ceea ce privește detaliile dar are performanțe scăzute din punctul de vedere al eliminării ceții din imagine.

Zhang și colab. au propus în [61] o metodă de îmbunătățire a vizibilității, ce utilizează o singură imagine cețoasă la intrare. Bazată pe tehnica reducerii dimensiunilor (dimension reduction technique), metoda folosește o filtrare ce conține un filtru median (metodă utilizată inițial de Tarel în [62]). Pentru refacerea imaginii încețoșate și estimarea vălulului (pâclei) atmosferice luminoase cauzată de dispersia luminii în ceață se folosește o descompunere a valorii singulare trunchiate (singular value decomposition) cu metoda „dark channel prior”. Metoda a fost mai apoi comparată cu alte metode din literatură din punct de vedere al efectului vizual, viteză de prelucrare și alte criterii de evaluare obiective. S-a dovedit faptul că metoda propusă în această lucrare este foarte rapidă datorită complexității scăzute, dar rezultatele obținute în condiții de ceață deasă și pentru obiecte îndepărtate nu sunt valide.

Metoda de îmbunătățire a vizibilității unei imagini cețoase propusă în [63] urmează pașii ce vor fi descriși în continuare: în primă fază se realizează un calcul bazat pe metoda „dark channel prior” asupra imaginii cețoase, apoi harta de transmisie este estimată și ajustată. Lumina atmosferică din imagine este de asemenea estimată, iar ca și ultim pas al algoritmului ar fi ajustarea gamma pentru a obține imaginea finală după „limpezirea” imaginii. Metoda propusă este comparată cu [54] din punct de vedere al performanțelor de îmbunătățire a imaginii încețoșate și al vitezei de prelucrare, fiind inferioară în prima categorie, imaginile prelucrate neavând un aspect natural dar având performanțe mai bune în cea de-a doua categorie, fiind de două ori mai rapidă.

Una dintre caracteristicile de bază ale unei imagini cu ceață este o valoare extrem de redusă a contrastului, de aceea ideea principală a metodei prezentate în [64] de Kim și colab. este refacerea imaginii încețoșate printr-o creștere a contrastului. Pentru îmbunătățirea imaginilor staționare, algoritmul constă în extragerea luminii atmosferice din imaginea de intrare, apoi estimarea blocurilor de transmisie, urmată de o rafinare a transmisiei. Un mare avantaj al acestei metode este faptul că aplicabilitatea a fost extinsă și pentru prelucrări în timp real, pe baza video-uri. Pentru aceasta a fost nevoie să se adauge costul coerenței temporale (temporal coherence cost) și să se reducă complexitatea de calcul pentru a evita apariția erorii de pâlpâire/tremurat a imaginilor (flickering artifacts). Cu toate acestea implementarea algoritmului nu este posibilă pe dispozitivele/sistemele disponibile momentan în vehicule comerciale, ce dispun de resurse de calcul reduse. În cadrul experimentelor metoda propusă a fost comparată cu câteva metode din literatură, rezultatele fiind prezentate în continuare: [57] generează mulți pixeli saturați prin faptul că s-a crescut contrastul imaginii prelucrate, [58] nu elimină ceața din unele zone unde ar fi necesar să se realizeze acest lucru, cum ar fi lângă linia de orizont din imagine sau în jurul unor obiecte, [55] schimbă nuanța culorilor și produce fenomene de aureolă (halo) în timp ce în [54] fiind luați în considerare doar pixelii întunecați pentru limpezirea imaginilor, se elimină umbrele din imagini. Continuând comparația cu [54], rezultatele experimentale relevă faptul că lumina atmosferică este mai bine estimată în metoda propusă, asigură o mai bună calitate a hărții de transmisie și trunchiază toți pixelii nu doar cei întunecați, ceea ce ne permite să concluzionăm că rezultatele per ansamblu în ceea ce privește performanțele de limpezire a imaginilor sunt superioare pentru metoda propusă.

După analiza abordărilor din acest capitol, putem concluziona faptul că metoda „dark channel prior” are câteva probleme ce ar trebuie rezolvate pentru a putea fi utilizată în domeniul automotive: imaginile cu ceață densă nu pot fi limpezite, iar pentru o serie de imagini specifice, cum ar fi cazul când obiectele sunt foarte aproape de lumina atmosferică, metoda nu poate fi aplicată.

### **3.2.3 Segmentarea imaginilor utilizând o singură imagine la intrare**

Zhu și colab. prezintă în [65] un algoritm bazat pe variația medie (mean shift) care îmbunătățește o parte din problemele metodelor tradiționale de îmbunătățire a imaginilor încețoșate în care fundalul atmosferic (cerul) este prezent în imagine: supra-saturarea imaginilor în [57], timpul ridicat de execuție plus faptul că nu poate fi utilizată pentru imaginile alb-negru în [58] sau problemele în gestionarea imaginilor ce conțin fundalul atmosferic și complexitatea de calcul pentru [66], [67]. Algoritmul bazat pe variația medie este compus din trei pași: segmentarea fundalului atmosferic, re-rafinarea și recondiționarea. Algoritmul începe cu calcularea canalului întunecat (dark channel prior) din imaginea de intrare, apoi pe aceeași imagine de intrare se aplică o corecție a ponderii de alb (white balance correction) pentru reducerea influenței asupra nuanței culorilor (după îmbunătățirea/refacerea unei imagini cețoase are loc o amplificare puternică a saturației). Pe imaginea procesată se recalculează canalul întunecat pentru a obține harta de transmisie brută, iar apoi se rafinează printr-o filtrare ghidată (guided filtering), propusă în [67]. În pasul următor se selectează în imagine regiunile ce conțin

fundalul atmosferic folosind un algoritm de variație a segmentării (shift segmentation algorithm) pentru rezolvarea problemei de subestimare a transmisiei. În ultima fază a algoritmului se aplică o nouă filtrare ghidată asupra imaginii pentru a rafina harta de transmisie, obținând astfel imaginea finală fără ceață. Din punct de vedere calitativ, rezultatele experimentale arată că metoda propusă îmbunătățește lipsurile metodelor din literatură (cu care este comparată). Din punct de vedere cantitativ metoda are rezultate comparabile cu celelalte metode, cu care este comparată, prin prisma zgomotului introdus și a calității imaginilor prelucrate dar are rezultate mai slabe pentru îmbunătățirea imaginilor cețoase prin prisma intensificării contrastului.

Metode bazate pe aceeași idee, de descompunere a fundalului atmosferic de restul imaginii sunt propuse în [68], [69] și [70]. Ipoteza autorilor în [68] este că părțile din imagine ce conțin cerul nu sunt importante pentru șofer așa că după aplicarea metodei „dark channel prior” asupra imaginii încețoșate aceste părți pot fi mascate (folosind transformata Hough și metode de detecție a muchiilor); rezultatul acestei operații este o imagine îmbunătățită și o scădere a erorilor apărute de-a lungul muchiile dintre fundalul atmosferic și drum. În [69] regiunea fundalului atmosferic din imagine este mai întâi segmentată („quad-tree splitting” plus algoritmul bazat pe variația medie) în imaginea cu ceață, urmată de estimarea transmisiei medii regionale și o rafinare a hărții de transmisie utilizând un filtru ghidat. Zhu și alții în [70] au propus un algoritm unde regiunea ce conține fundalul atmosferic este mai întâi detectată bazat pe strălucire și gradient și apoi este separată de restul imaginii pentru a evita introducerea de zgomot și distorsionarea culorilor, cauzate de această regiune.

Algoritmii de separare a regiunii ce conține drumul de cea a fundalului atmosferic dintr-o imagine, suferă din cauza costului de calcul ridicat, de aceea nu sunt tocmai potriviți pentru aplicațiile ce necesită operarea în timp real.

### **3.2.4 Segmentarea imaginilor utilizând mai multe imagini la intrare**

O serie de metode legate de segmentarea imaginilor au fost deja prezentate, [65]- [70], unde cerul este separat de restul imaginii pentru a evita introducerea de zgomot și pentru a evita introducerea de distorsiuni la limita dintre cele două zone, fundal atmosferic și carosabil. Alte metode, având de această dată mai multe imagini la intrare, prezentate în [71] și [72], segmentează vehiculele aflate în mișcare de mediul înconjurător, chiar și în condiții de vreme nefavorabile cum ar fi ceața. O astfel de metodă necesită un număr mare de cadre pentru a diferenția prim planul de planul de fundal, așa că ideea propusă în această lucrare este folosirea energiei de mișcare a vehiculelor ce se deplasează pentru a le putea diferenția de planul de fundal aflat mereu în schimbare. Aplicând un prag de adaptare dinamic, mișcarea falsă determinată de planul de fundal dinamic este atenuată și eficiența de calcul este îmbunătățită, făcând posibilă implementarea metodei în aplicații ce necesită procesare în timp real. În comparație cu alte metode din literatură, această metodă s-a dovedit robustă în reducerea mișcărilor false și detecției vehiculelor aflate în mișcare chiar și în condiții de vizibilitate redusă. Una dintre limitările metodei este cazul în care două vehicule sunt foarte apropiate, algoritmul detectându-le ca fiind un singur obiect. Metoda este potrivită spre a fi utilizată pe autostrăzi, ca un sistem staționar care notifică șoferii despre distanța de vizibilitate.



Yuan și colab. consideră, în [73], imaginile încețoșate ca fiind o convoluție între imaginea originală și o funcție de degradare. Metoda propusă debutează cu o segmentare a imaginii de intrare în blocuri care mai apoi sunt descompuse în plan de fundal și prim plan, acesta din urmă cu ceva erori cauzate de mișcare. Următorul pas este crearea funcției de transfer locală prin deconvoluție, folosind blocurile cu caracterul cel mai rar întâlnit; scopul final al acestei abordări este de a crea funcția globală de transfer ce va fi mai apoi utilizată pentru reconstrucția imaginii fără ceață prin deconvoluție a imaginii originale cu funcția de transfer globală. Rezultatele demonstrează faptul că metoda propusă oferă scene clare, cu vizibilitatea îmbunătățită și cu mai multă entropie informațională comparativ cu alte metode din același segment de cercetare. Experimentele au fost executate asupra unor imagini cu scene simple de trafic, număr scăzut de mașini, de aceea consider că e nevoie de o confirmare a metodei în situații mai complexe de trafic care să îi dovedească fiabilitatea.

Metoda propusă în [74] evită separarea imaginii în prim plan și plan de fundal, fapt ce cauzează numeroase dezavantaje cum ar fi actualizarea continuă a planului de fundal cauzate de schimbarea luminanței, efecte de umbră, variații în luminanță, suprapunerea vehiculelor dacă sunt foarte apropiate etc. Metoda prezentată se bazează pe o detecție adaptivă a vehiculelor, acestea fiind detectate fără a necesita operații asupra planului de fundal. Primul pas ar fi o normalizare a imaginii de intrare printr-o extindere a histogrammei pentru a reduce impactul vremii și al efectelor cauzate de lumină. Apoi, obiectele aflate în mișcare sunt segmentate dinamic folosind metoda diferențială a valorilor de gri și vehiculele sunt extrase contopind obiectele dezbinat sau dezbinându-le pe cele incorect contopite/unite. Urmărirea vehiculelor, corelarea cu informațiile existente și actualizarea parametrilor de trafic sunt pașii următori, continuați cu o compensare a erorilor, utilă pentru cazurile când anumite obiecte sunt ratate. Comparativ cu metodele anterioare, timpul de prelucrare scade, algoritmul fiind aplicat doar în zona de interes, astfel metoda poate fi utilizată în aplicații ce necesită execuție în timp real. Rezultatele obținute în urma experimentelor arată că metoda poate fi aplicată în condiții de trafic aglomerat. Metoda a fost testată în diferite condiții meteo - însorit, ploaie, răsărit, înorat, ninsoare - dar este nevoie să fie încă testată în condiții de ceață, făcând în acest fel metoda atractivă pentru aplicațiile comerciale.

### **3.2.5 Metode de învățare automate (Machine learning)**

Metode foarte promițătoare pentru îmbunătățirea vizibilității, folosind o singură imagine la intrare, se bazează pe rețele neuronale. Acestea sunt o categorie din metodele de învățare automată (Machine Learning - ML) care permit rezolvarea funcțiilor neliniare complicate. În zona de procesare a imaginilor sunt utilizate în mare parte rețelele neuronale profunde (Deep Neuronal Networks - DNN), care sunt rețele neuronale artificiale (Artificial Neural Networks - ANN) cu multe straturi de neuroni ascunse, între straturile de intrare și de ieșire.

Unul dintre pionierii din acest domeniu este Cerișan [75], a cărui metodă a devenit etalonul de recunoaștere a semnelor de trafic germane (prin câștigarea premiului „German traffic sign recognition benchmark”), algoritmul fiind mai precis în identificarea obiectelor decât observatorii umani. În zona de îmbunătățire a vizibilității, Hussain prezintă în [76] o metodă care folosește la intrare o singură imagine cețoasă, modelează

funcția de ceață cu DNN și elimină ceața din imagine. Multiplele straturi ascunse sunt utile în acest caz, în realizarea unei reprezentări mai eficiente a funcției de ceață. Rețeaua învață funcția printr-o serie de exemple, practic folosind perechi de imagini intrare-ieșire. Inițial, sunt utilizate unele valori aleatorii pentru DNN, iar secvența de intrare este propagată în rețea și va produce la ieșire o imagine diferită comparativ cu imaginea țintă (dorită). Funcția de eroare a rețelei este o sumă a erorilor generate de fiecare dintre straturile ascunse; soluția propusă în această lucrare pentru a minimiza eroarea este un algoritm de propagare-inversă care retrimite semnalul de eroare în rețea (din stratul de ieșire). În acest fel fiecare nod își poate calcula propria eroare introdusă în faza de procesare, iar nodurile își pot actualiza ponderea valorilor de intrare. Acest proces continuă până când eroarea devine suficient de mică, practic imaginea de ieșire generată de rețea fiind acceptabilă raportată la imaginea țintă. În acest moment, modelul de intrare este prezentat în rețea. În lucrare algoritmul este testat doar pe imagini artificiale, ceea ce face ca munca să fie mai simplă, în măsura în care modelele dintr-o astfel de imagine sunt mai regulate.

În [77] Singh a propus o metodă bazată pe un caz particular de DNN, numit Rețele neuronale convenționale (Conventional Neural Networks - CNN), metodă care acceptă atât propagarea înainte cât și înapoi pentru minimizarea erorilor. CNN este implementat pe baza a două straturi principale: extragerea caracteristicilor și maparea caracteristicilor. În [78] Cho și colab. folosesc CNN ca și clasificator pentru estimarea vizibilității; rețeaua este învățată folosind imagini cu camere CCTV capturate în diferite condiții meteorologice. Pentru a avea un număr mai mare de imagini în antrenarea rețelei, se propune un algoritm care aplică mai multe tehnici de augmentare (rotire, răsturnare, traducere, mărire, mărire pe regiuni etc.), astfel încât dintr-o singură imagine de intrare pot fi obținute mai multe imagini unice. Pentru extragerea caracteristicilor sunt utilizate două straturi de convoluție, primul produce 32 de hărți de caracteristici, iar cel de-al doilea 64 de hărți de caracteristici. Precizia de clasificare a metodei propuse este de aproximativ 80%, fiind încă loc de îmbunătățire. Un alt minus este faptul că în procesul de învățare au fost utilizate doar imagini în condiții de zi.

Metodele bazate pe învățare avansată, folosind învățarea profundă, dovedesc performanțe foarte bune, dar pentru aceasta e nevoie de o cantitate mare de imagini de învățare a rețelei, în diferite condiții (zi, noapte, diferite condiții meteorologice etc.); performanțele rețelei sunt limitate de cantitatea de date de învățare utilizate.

În ciuda avantajelor multiple cum ar fi libertatea de implementare a diversilor algoritmi, cum s-a putut observa în capitolele precedente, a flexibilității și a prețului scăzut, metodele bazate pe prelucrare de imagini au și numeroase dezavantaje: camerele putând fi obstrucționate parțial sau total de ceilalți participanți la trafic sau de condițiile de vreme nefavorabile, astfel existând riscul de a oferi rezultate eronate în momente de maximă importanță.

### 3.3 Metode de detectare a ceții

În secțiunea precedentă au fost menționați Hautière și He ca piloți pentru domeniul eliminării ceții din imaginilor, acum una dintre cele mai relevante lucrări pentru vederea în atmosferă este lucrarea lui Nayar și Narasimhan [79], care se bazează pe cercetările de renume ale lui Middleton [2] și McCartney [80].

Majoritatea abordărilor pentru detectarea ceții și determinarea densității acesteia cu scopul estimării vizibilității se bazează pe măsurători ale puterii optice emise de diverse surse de lumină, dar există și abordări ce presupun procesare de imagini. Principiul de bază al metodelor din prima categorie este faptul că impulsurile infraroșii sau de lumină emise în atmosferă sunt dispersate și absorbite de particulele și moleculele de ceață, rezultând într-o atenuare a puterii optice. Metodele de detectare a gradului de atenuare sunt: prin măsurarea puterii optice după ce fasciculul de lumină a parcurs un strat de ceață (transmisie directă) sau prin măsurarea luminii reflectate atunci când fasciculul de lumină este respins / reflectat de stratul de ceață (fig. 3.2).

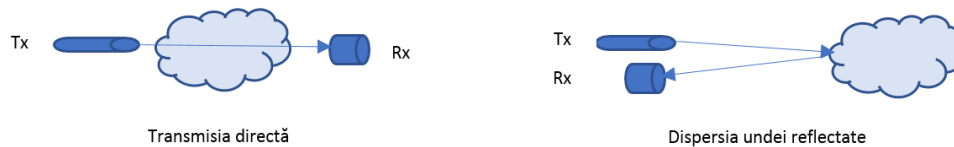


Fig. 3.2. Metode de măsurare a puterii optice

#### 3.3.1 Măsurarea transmisiei directe

În [31] sunt prezentate o serie de măsurători realizate în laborator, unde ceața este generată într-o încăpere, iar cu ajutorul unui laser și a unui receptor optic se analizează influența ceții (atenuarea, dispersia și absorbția) asupra fasciculului laser. Distanța dintre transmițător și receptor este de un metru, mediul cețos este realizat cu un generator de ceață, cantitatea de ceață fiind controlată prin nivelul de lichid utilizat pentru generarea acesteia. Pe lângă măsurătorile realizate în ceață, în aceeași încăpere se evaluează puterea optică a fasciculului, variind de această dată puterea la intrarea dispozitivului pentru a se realiza o concordanță între puterea de intrare și diferite nivele de ceață. Metoda este un punct de plecare bun pentru a împărți ceața în diferite categorii, iar plusul acestei lucrări este felul în care rezultatele sunt validate - prin măsurarea acuității vizuale cu ajutorul unui tabel cu optotipuri.

O metodă de estimare a densității ceții bazată pe atenuarea legăturii optice, în condiții reale de această dată, este prezentată în [81], realizată prin compararea atenuării optice cauzată de condițiile meteo nefavorabile cu rezultatele oferite de un echipament

meteorologic standard, dar și cu cele realizate cu ajutorul unei camere. Măsurătorile sunt realizate într-o zonă predispusă la ceață, observatorul fiind situat la 836 metri deasupra nivelului mării. Distanța dintre transmițător și receptor în acest caz este de 60m, comunicația optică realizându-se pe o lungime de undă de 1550nm. Rezultatele obținute prin evaluarea puterii optice au fost apropiate de cele oferite de sistemele profesionale. Munca este continuată în [82] și [83], unde este prezentată și legătura dintre atenuarea cauzată de ceață și vizibilitate (definiție din CIE):

$$\beta = \frac{3.91}{V} \left[ \text{km}^{-1} \right] \quad (3.1)$$

unde  $\beta$  este atenuarea,  $V$  este vizibilitatea, relația fiind validă pentru o lungime de undă  $\lambda = 550\text{nm}$ . Comparații între măsurătorile optice menționate mai sus și alte metode sunt prezentate în sub-capitolul 3.4 Senzori și sisteme pentru măsurarea vizibilității.

### 3.3.2 Dispersia undei reflectate

În [84] și [32] este prezentat un senzor de ceață care măsoara densitatea ceții în funcție de cantitatea de lichid ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) din atmosferă, cantitate determinată cu ajutorul principiului de disperie al undei reflectate. Sistemul e compus dintr-o unitate situată în exterior care trimite și recepționează impulsuri infraroșii scurte. Amplitudinea și forma semnalelor recepționate sunt analizate, acestea fiind influențate de cantitatea de lichid din mediu. Prezența ceții este determinată prin compararea valorilor calculate cu un prag predefinit.

Sistemele LIDAR prezentate în [33] [34], sisteme de detectare și măsurarea a luminii, funcționează pe principiul transiterii unor impulsuri în mediu iar apoi măsurarea timpului de întoarcere a acestora. Aceste sisteme sunt capabile să detecteze particule de până la câteva  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Distanța se calculează multiplicând viteza luminii ( $0.3\text{m}/\text{ns}$ ) cu timpul de zbor și apoi înjumătățind valoarea obținută datorită distanței duble (tur-retur) parcursă de fascicul. LIDAR-ul transmite aproximativ 150.000 de pulsuri/secundă, fiind astfel capabil să construiască o hartă complexă a suprafeței frontale. Această capabilitate îl face util și în alte aplicații cum ar fi detectarea condițiilor meteo locale, oportunitate prezentată în lucrările [35] și [85]. Există posibilitatea de a diferenția impactul condițiilor meteo asupra fasciculului de impactul cauzat de alte obiecte întâlnite de acesta, luând în considerare forma semnalului reflectat care este comparată cu un set de praguri predefinite. Particulele de ceață, stropii de ploaie și poluanții din aer au un ecou de recepție plat și extins, făcându-le astfel să se distingă de cele reflectate dintr-un vehicul. Pe lângă aceasta, din forma răspunsului se pot extrage informații referitoare la gradul de absorbție, având astfel un parametru de încredere pentru estimarea vizibilității. Parametrii luați în considerare pentru evaluarea condițiilor meteo sunt puterea semnalului reflectat și coeficientul de dispersie al semnalului reflectat.

Unul dintre avantajele acestei abordări este faptul că sistemele LIDAR sunt deja instalate pe o parte din mașinile comercializate, astfel ar fi nevoie doar ca datele achiziționate să fie procesate și reutilizate pentru această nouă funcționalitate. Ca și pași următori ai acestei abordări ar fi validarea și confirmarea rezultatelor obținute în diferite condiții meteo.

### 3.3.3 Analiza imaginilor bazată pe caracteristici globale

Alte abordări pentru detecția ceații au în vedere o analiză a caracteristicilor globale ale imaginii originale. Spre exemplu, în [86] pentru a detecta condițiile de ceață se analizează puterea spectrală, care este pătratul modulului transformatei Fourier a imaginii, având informații despre frecvențele din imagine, neavând nevoie de nicio informație spațială. Pentru a extrage caracteristicile, mai întâi se aplică o fereastră Han pentru a evita componentele de bandă largă de-a lungul axei, urmat de FFT (Fast Fourier Transform). Înainte de clasificare, pentru acuratețe, se realizează o diminuare a caracteristicilor în doi pași. Pe baza acestor caracteristici, imaginile se pot clasifica în imagini fără ceață și imagini cu ceață, pentru această din urmă categorie împărțirea se va putea face pe diferite nivele de ceață (nivel scăzut de ceață, nivel mediu de ceață și ceață densă). Pentru scenele cu ceață, componentele spectrale sunt concentrate în jurul valorii zero în timp ce pentru scenele fără ceață sunt mult mai multe componente spectrale cu frecvențe ridicate. Rezultatele obținute în urma experimentelor (clasificarea imaginilor în diferite categorii de ceață) arată o acuratețe de 94% a detecției, pe un număr de 44.000 de imagini de test în condiții de zi. Pe parcursul experimentelor nu au fost luate în considerare toate profilele de drumuri și toate categoriile de ceață, imaginile fiind împărțite în doar trei categorii: fără ceață, nivel de ceață scăzut și nivel de ceață ridicat. Un dezavantaj al acestei metode este faptul că funcționează doar dacă linia de orizont este vizibilă în imagine, în caz contrar (dacă vizibilitatea este blocată) rezultatele vor fi eronate. Un alt minus al acestei metode este aplicabilitatea doar în condiții de zi, dezavantaj care a fost îmbunătățit în [87], unde metoda a fost extinsă și pentru condiții de noapte. În această lucrare rata de detecție a fost crescută la 95.35% în condiții de zi și la peste 99% în condiții de noapte, metoda fiind mult mai robustă și la variații ale condițiilor meteo. Metoda oferă rezultate eronate în detecția condițiilor meteo fără ceață, când contrastul ridicat din imagine este interpretat ca ceață (ex. vehicule venite din sens opus, depășirea tirurilor, trecerea peste poduri etc.).

În [88] este prezentată o metodă de îmbunătățire a imaginilor ce poate fi utilizată într-un sistem ADAS, capabilă să gestioneze schimbări bruște în iluminare prin analiza distribuției componentelor spectrale ale blocurilor din imaginile afectate de ceață, în detrimentul analizei din domeniul spațial. Metoda propusă are costuri scăzute de calcul putând îndeplini cerințele de funcționare în timp real. Ipoteza prezentată în această lucrare este faptul că ceața fiind formată din particule fine de apă, dispersează fasciculele de lumină ceea ce din punctul de vedere al procesării de imagini înseamnă că muchiile din imaginile afectate de ceață nu mai sunt la fel de clare ca cele din imaginile fără ceață și vizibilitatea este redusă. Metoda începe prin calcularea punctului de dispariție (vanishing point) din imaginea de intrare, apoi se calculează panta spectrală (spectrum slope) pentru blocurile din jurul punctului de dispariție. Prin clasificarea bazată pe parametrii puterii pantei spectrale (power spectrum slope parameters) se obține intervalul scăderii vizibilității. După analiza a mai mult de 1100 de imagini (aproximativ 15% naturale iar restul scene sintetice), rata de detecție pentru imaginile afectate de ceață este de peste 95% pentru blocuri PSS (Power Spectrum Slope) mici și scade dacă dimensiunea blocurile crește. Testele au fost realizate în condiții diferite de luminozitate, ceea ce este un aspect foarte important când ne referim la un sistem de detecție a vizibilității. Pe de altă parte, algoritmul nu a fost testat în situații complexe de trafic, cum

ar fi drumuri aglomerate, cu curbe sau treceri peste poduri. În situația actuală algoritmul nu poate fi integrat într-un sistem ADAS atâta timp cât nu ofera alte informații în afară de situația mediului înconjurător, dacă este cețos sau nu. Un astfel de sistem ar trebui să informeze șoferul despre distanța de vizibilitate, să recomande o viteză ce trebuie adaptată la condițiile meteo etc.

În [89], Asery și colab. au clasificat imaginile încețoșate în funcție de caracteristicile lor optice. Caracteristicile matricei de co-apariție a nivelelor gri sunt extrase după ce imaginea originală RGB este împărțită în trei imagini gri. Cei mai importanți trei parametri ai matricei de co-apariție a nivelelor gri sunt considerați contrastul, corelația și omogenitatea, aceștia fiind folosiți ca parametri de clasificare pentru mașina cu suport vectorial utilizată pentru clasificare. Acești trei parametri sunt potriviți atât pentru imaginile sintetice (acuratețe de detectare de 97%) cât și pentru cele naturale (acuratețe de detectare de 85%). Rezultatele înregistrate sunt mai bune pentru imaginile sintetice deoarece imaginea de fundal rămâne aceeași indiferent că imaginea conține ceață sau nu, ceea ce nu este valid în cazurile reale. Metoda propusă este comparată cu cea din [90], ca imagini de test fiind utilizate cele naturale, rezultatele fiind superioare din punct de vedere al acurateții.

În [91], Almi și colab. au considerat doar doi parametri pentru detectarea ceții: saturația și corelația. Selectarea acestor parametri se bazează pe caracteristicile ceții, atenuarea culorii și o intensificare a culorii albe. Ceața este detectată în doi pași: în primă fază atenția este concentrată pe punctul de dispariție (vanishing point), detectat cu ajutorul unui algoritm bazat pe muchii, apoi liniile drepte sunt detectate folosind transformata Hough; candidații pentru punctele de dispariție sunt punctele de intersecție ale liniilor drepte. În cel de-al doilea pas, ceața este detectată selectând o regiune centrată pe un punct de dispariție unde se calculează corelația și saturația dintre canalele RGB, pentru fiecare pixel. Pentru o imagine cu ceață, regiunea din jurul punctului de dispariție se caracterizează prin saturație nulă și corelație ridicată. Metoda a fost testată doar pe imagini sintetice, astfel că trebuie încă confirmată pe imagini naturale.

Metoda dispersiei inverse (backscattering), pentru detectarea ceții și estimarea vizibilității, a fost utilizată și în aria procesării imaginilor, nu doar pentru măsurători de putere optică. Gallen și colab. au brevetat o metodă ([92]) pentru estimarea vizibilității bazată pe detectarea ceaței în condiții de noapte, care a fost publicată în continuare în [93]. Ceața este detectată prin analizarea vălului sau a aureolei care se formează în jurul unei surse de lumină (de exemplu, faruri, iluminat public etc.). Analiza a fost realizată empiric, prin compararea unei imagini cu ceață cu una de referință, în care distanța de vizibilitate era cunoscută (la fel și densitatea ceții). Autorii au fost de acord că aceasta nu este cea mai fiabilă soluție, motiv pentru care în viitor intenționează să analizeze caracteristicile aureolei pentru detectarea ceții.

În [90] Zhang și colab. prezintă o comparație între diferite metode de procesare a imaginilor pentru estimarea distanței de vizibilitate, bazate pe analiza caracteristicilor imaginilor de intrare. Sunt prezentate șapte metode bazate pe analiza histogrammei imaginilor: Descriptorul de directivitate a culorii și muchiilor (Color and Edge Directivity Descriptor (CEDD)), Descriptorul histogrammei muchiilor (Edge Histogram Descriptor (EHD)), Culoarea difuză și textura histogrammei (Fuzzy Color and Histograma Texture (FCTH)), Histograma difuză a celor ce vin din sens opus (Fuzzy Opponent Histogram (FOH)), Descriptor de histograma comună (Joint Histogram Descriptor (JHD)), Descriptorul de culori scalabil (Scalable Color Descriptor (SCD)), Histograma de culoare

simplă (Simple Color Histogram (SCH)). Pentru clasificarea metodelor au fost folosite mașini cu suport vectorial, utilizând nucleul funcției de bază radiale (Radial Basis Function (RBF)) și metoda detecției caroiajului pentru optimizarea parametrilor. Pentru experimente au fost utilizate 321 de imagini din trei stații de observare meteo, imagini capturate cu ajutorul a șase camere. Pe durata evaluării, imaginile au fost împărțite în trei categorii – fără ceață, ceață scăzută și ceață densă – iar clasificarea metodelor este realizată prin evaluarea acurateții fiecăreia de a plasa imaginile în categoria potrivită. Rezultatele arată că metoda JHD are cele mai bune rezultate urmată de FCTH.

Metodele bazate pe rețele neuronale sunt de asemenea utilizate pentru detectarea ceții, nu numai pentru îmbunătățirea imaginii. Unele metode noi aparute în clasificarea imaginilor prin analizarea caracteristicilor lor globale se bazează pe rețele neuronale profunde (DNN). Pe baza algoritmului de propagare înapoi pentru minimizarea erorii, Pagani și colab. au prezentat în [94] o rețea neuronală cu cinci straturi, antrenată folosind imagini surprinse de camerele de monitorizare a traficului răspândite pe suprafața Olandei, cu scopul principal de a identifica diferite categorii de ceață în imagini. Autorii propun o fază de pre-procesare înainte de aplicarea DNN, pentru a uniformiza imaginile de la diferite camere, reducând dimensiunile lor la 28x28 pixeli și estompându-le pentru a evita prezența unor pixeli specifici (de exemplu, informații specifice furnizate de o cameră ca dată, oră, locație etc.) care pot fi învățate de rețea. Setul de caracteristici extrase sunt utilizate ca predictor pentru a identifica densitatea ceții. După învățarea rețelei folosind biblioteca H2O, algoritmul a fost utilizat pe unele imagini obținute de la camerele de monitorizare a traficului, dar rezultatele nu au fost satisfăcătoare, rata de eroare fiind ridicată. Dezvoltarea sistemului este totuși continuată, autorii intenționând să-l îmbunătățească folosind seturi de date suplimentare pentru învățarea sistemului de o mai mare varietate (zi / noapte, condiții meteorologice diferite etc.).

Li și colab. au propus în [95] o abordare bazată pe două rețele CNN în care prima rețea CNN este utilizată pentru extragerea caracteristicilor vizibilității iar pe baza acestor caracteristici se aplică o rețea neuronală de regresie generalizată (Generalized Regression Neural Network - GRNN) pentru evaluarea inteligentă a vizibilității (având rolul de a aproxima funcția de vizibilitate). GRNN este o rețea cu patru straturi, care conține un strat de intrare, unul radial, unul liniar și un strat de ieșire. Pentru evaluarea vremii se folosesc doar părți ale imaginii de intrare, contextul și dimensiunea imaginii utilizate pentru analiză, influențând exactitatea predicției vizibilității. Rezultatele metodei nu sunt de încredere în acest moment spre a fi folosite pe un vehicul, precizia de anticipare fiind de aproximativ 60%; modelul este influențat și de cantitatea redusă de seturi de date de instruire utilizate pentru învățarea rețelei.

În [6] Chabaani și colab. prezintă o metodă de estimare a domeniului de vizibilitate, în mediu cețos. Metoda este adecvată pentru a face parte dintr-un sistem staționar, instalat pe autostrăzi sau drumuri expres și folosește o singură imagine de intrare. Sistemul trebuie să diferențieze imaginile în clase, pornind de la imagini fără ceață până la imagini cu ceață densă. Autorii au propus o rețea neuronală în trei straturi ca și clasificator, învățat cu un algoritm de propagare inversă. Rețeaua este învățată folosind exemple etichetate și se concentrează mai mult pe caracteristicile globale ale imaginilor. Stratul de intrare reprezintă descriptorul caracteristicilor imaginii în timp ce stratul de ieșire reprezintă clasele de vizibilitate. În comparație cu metoda prezentată anterior ([94]), metoda actuală nu are nevoie de o fază de pre-procesare, calibrare a camerei sau

informații legate de distanțele din harta de adâncime, fiind din acest punct de vedere generică pentru diferite tipuri de imagini.

În concluzie, metodele de estimare a vizibilității sunt considerate de autorul acestei teze potrivite pentru utilizarea practică spre a crește siguranța transportului de orice fel (rutier, maritim, aeroporturi), împreună cu o întreținere adecvată a infrastructurii rutiere (sisteme de gestionare a traficului, marcaje, semnalizare, vehicule rutiere).

### **3.4 Senzori și sisteme pentru măsurarea vizibilității**

Mașinile produse astăzi sunt echipate cu o sumedenie de camere și senzori destinați unor funcționalități specifice dar care ar putea fi utilizați și pentru detectarea ceții și îmbunătățirea vizibilității. Spre exemplu, modelul S de la Tesla are doar pentru funcționalitatea de autopilot 8 camere pentru o vizibilitate la 360 de grade, 12 senzori ultrasonici și un radar cu capabilități îmbunătățite de prelucrare a datelor. Funcțiile ADAS sunt tehnologii de bază pentru vehiculele inteligente actuale: sisteme de detecție a marcajelor rutiere sau de recunoaștere a semnelor din trafic [96], [97], sisteme de avertizare în caz de coliziune, LIDAR, integrarea camerelor cu sistemele radar sau LIDAR [33] [34] [35] – toate aceste date pot fi adunate și prelucrate pentru realizarea unui model capabil să detecteze vizibilitatea în condiții de ceață.

#### **3.4.1 Senzori și sisteme aflate pe mașină**

Gallen și colab. au prezentat în [98] un model de reducere a riscului de accidente în condiții de vreme nefavorabilă cauzate de vizibilitate redusă sau pierdere a aderenței, prin calcularea unei viteze recomandate pentru condițiile meteo specifice. Această funcționalitate poate fi inclusă în sistemele ADAS pentru a monitoriza această limită de viteză recomandată. Mai mult, în lucrare sunt prezentate diferite profile pentru frânarea de urgență sau adaptarea vitezei la caracteristicile drumului care împreună cu parametrii mașinii și a șoferului (viteza de reacție a șoferului, presiunea necesară pentru apăsarea frânei etc.) pot fi integrați într-un singur sistem capabil să diferențieze și să acționeze în diferite condiții meteo. Modelul poate fi îmbunătățit prin adăugarea altor profile ce țin de funcționalitatea mașinii, comportamentul șoferilor și poate fi extins la condiții de noapte pentru a asigura interdependența completă dintre șofer, mașină, infrastructură și condițiile din mediul înconjurător.

În [35] Danheim și colab. au înțeles oportunitatea utilizării datelor achiziționate de diverși senzori ce sunt deja prezenți pe mașinile comerciale, dar sunt utilizați pentru alte funcționalități în prezent, și au propus un sistem pentru recunoașterea condițiilor meteo compus dintr-o cameră și un LIDAR. Datele de la aceste dispozitive sunt interconectate, folosind un model de fuziune, cu scopul de a le folosi într-un sistem de conducere autonomă. Pentru detecția ceții cu ajutorul camerei se folosește abordarea lui Pavlic din [86] dar autorul tezei consideră că abordarea folosirii unei singure camere pentru conducerea autonomă este mult prea riscantă, concluzie trasă și la sfârșitul subcapitolului de procesări de imagini. LIDAR-ul funcționează pe tehnologia laser, astfel



poate elimina multe dintre lacunele abordărilor bazate pe camere video. Acesta se bazează pe metoda de dispersie a undei reflectate, unde un fascicul de lumină este emis în atmosferă iar LIDAR-ul măsoară timpul de î ntoarcere al undei reflectate, ceea ce permite calcularea distanței până la cel mai apropiat obiect. Ceața crează efectul undei pâcle în atmosferă, astfel pentru detectarea ei și apoi determinarea densității sunt analizate puterea și coeficientul de reflecție al undei reflectate. Vremea locală (în apropierea mașinii) poate fi determinată pe baza unor modele predefinite pentru fiecare tip de semnal reflectat (pământ, ceață, ploaie, zăpadă etc.), informație ce va putea fi mai apoi împărțită cu ceilalți participanți la trafic, transformând astfel mașina într-o stație locală de detectat condițiile meteo, ce oferă rezultate de încredere și de o precizie ridicată. Cercetarea continuă în [85] unde pe lângă ceață, sunt detectate și particulele de aer poluat (smog), ceea ce este extrem de util în special pentru marile orașe ce sunt și foarte aglomerate. Detecția, realizată cu camera, se bazează pe măsurarea absorbției luminanței, reflexiei, refracției sau dispersiei particulelor de lumină, datorată moleculelor și particulelor din aer. Poluanții cauzează diferite nivele de absorbție, dispersie sau reflexie în spectrul color comparativ cu aerul curat, de aceea analiza histogramei de culori a canalelor RGB poate oferi informații utile referitoare la nivelul și tipul de poluare. Detecția cu ajutorul LIDAR-ului, cum am menționat și mai sus, se bazează pe caracteristicile impulsurilor răspuns – plate și extinse pentru poluanții din aer, ceață sau ploaie. Această ultimă parte are o importanță deosebită pentru viitorul ecologic al domeniului automotive (green eco driving), care este un trend pentru anii ce urmează. Nivelul mare de poluare cauzat de industria transporturilor în ultimii ani face ca unul dintre scopurile majore ale industriei automotive să fie reducerea emisiilor de  $CO_2$ , dar și a nivelului de energie consumată, având în vedere că un studiu realizat în 2015 arată că acest sector a consumat 25% din energia globală și este de așteptat să crească cu 1.1% anual până în anul 2040 [99]. Astfel primele măsuri pentru reducerea acestui fenomen negativ au fost luate de autoritățile publice, majoritatea metropolelor europene interzicând folosirea automobilelor diesel în interiorul orașului începând cu anul 2020.

În [100] este prezentată o metodă de detecție bazată pe radar, unde dispersia și absorbția undelor milimetrice sunt analizate; ca și factori de influență pentru acestea fiind lungimea de undă, temperatura și proprietățile particulelor. Pentru a deriva un model referitor la reflexia dispozitivului radar, ca mai apoi să se realizeze o legătură a acestuia cu vizibilitatea, se ia în considerare distribuția reducerii dimensiunii (drop size distribution), bazată pe o variantă modificată a distribuției gama, abordare utilizată și în [83]. Parametrii distribuției de reducere a dimensiunilor permit detectarea diferitelor tipuri de ceață și variațiile lor. În cadrul experimentelor realizate, reflexia radarului s-a măsurat cu ajutorul unui dispozitiv radar pentru nori ce funcționează pe o frecvență de 35GHz, vizibilitatea fiind măsurată cu un senzor de vizibilitate Biral SWS-100 capabil să măsoare distanțe între 10m și 75km, cu o rezoluție 10m și acuratețe 10%. Rezultatele obținute cu cele două dispozitive sunt apoi comparate cu cele calculate prin distribuția reducerii dimensiunilor, informație obținută cu sonda unui spectrometru de dispersie (Forward Scattering Spectrometer Probe - FSSP) care măsoară numărul de particule din atmosferă și dimensiunile lor (valorile detectate sunt între  $3\mu m$  și  $46.5\mu m$ ). Primele măsurători confirmă relația dintre reflexia radarului și vizibilitate, rezultatele suprapunându-se în diferite momente cu ceață; o parte din diferențele apărute au fost cauzate de limitările dispozitivelor utilizate – radarul pentru nori fiind mai sensibil la

particulele de dimensiuni mici comparativ cu FSSP. Astfel estimatorul de vizibilitate bazat pe radar și-a dovedit aplicabilitatea, relația dintre reflexie și vizibilitate fiind confirmată, dar sistemul trebuie validat cu un număr mare de date, în diferite condiții reale, de complexitate ridicată.

### 3.4.2 Senzori și sisteme externe

Un sistem staționar potrivit spre a fi instalat pe autostrazi sau drumuri express pentru a determina distanța de vizibilitate în condiții de ceață și a recomanda o viteză adecvată pentru condițiile de drum specifice este prezentat de autorul tezei în [101]. Sistemul e compus dintr-un dispozitiv laser și o cameră, aceasta din urmă având rolul de a monitoriza lungimea fascicului laser. În condiții de ceață fasciculul laser se disipă, rezultând astfel într-o „urmare” mai scurtă lăsată în imaginea capturată. Folosindu-se de aceste informații, autorii au realizat o estimare a distanței de vizibilitate, pe baza căreia au recomandat o viteză propice astfel încât șoferul să fie capabil să oprească mașina în condiții de siguranță. Aceste informații pot fi afișate pe panourile de avertizare de pe autostrăzi sau pot fi transmise direct șoferilor sub forma unor notificări pe dispozitivele mobile. Măsurătorile și rezultatele prezentate au fost realizate în cadrul unor experimente în laborator, astfel sistemul având nevoie de o validare în condiții reale. Un dezavantaj al acestui sistem ar fi costul ridicat, actuala infrastructură de pe autostrăzi nefiind suficientă pentru implementarea acestei soluții, fiind astfel nevoie de instalarea unor dispozitive suplimentare.

Pe aceeași idee de a detecta ceața de pe autostrăzi folosind un sistem staționar și de a informa șoferii despre condițiile de trafic, se bazează și articolul [102] unde este prezentată o rețea de senzori wireless. Sistemul este format din așa numitele terminale, senzori wireless, stații de control locale și stații dirijate de la distanță. Sensorii wireless au rolul de routere pentru retransmiterea semnalului și includ senzori pentru determinarea vizibilității, creându-se astfel o rețea de senzori wireless. Comunicația externă, dintre stația locală și cea controlată de la distanță se realizează cu module 3G și module satelit ca și soluție de back-up, pentru a asigura fiabilitatea rețelei. Fiecare nod adună informații despre temperatură, umiditate și vizibilitate, iar pe baza acestor trei parametri se iau decizii referitoare la densitatea ceții. Pentru a informa șoferii despre distanța de vizibilitate ar fi necesară instalarea de panouri de afișaj și de senzori la fiecare km, ceea ce ar însemna costuri foarte ridicate. Rezultatele prezentate în această lucrare sunt doar unele preliminare, care dovedesc că procesul funcționează (achiziție de date, transmisie și procesare), dar nu este prezentat niciun rezultat în diferite condiții meteo nefavorabile pentru a demonstra și partea de funcționalitate a sistemului.

O metodă de estimare a densității ceții bazată pe atenuarea legăturii optice în spațiu liber este prezentată în [81] și continuată în [82], comparația făcându-se cu echipamente meteorologice standard. Brazda și colab. propun un dispozitiv de măsurare a vizibilității compus dintr-o cameră video și ținte alb-negre pentru măsurarea contrastului. Ceața are ca efect întunecarea obiectelor albe și o luminare a obiectelor negre ducând astfel la o reducere a contrastului. Metoda se bazează pe definiția vizibilității care spune: „Vizibilitatea este o distanță  $x$ , unde raportul dintre contrastul aparent măsurat la o distanță  $x$  și contrastul intrinsec al țintei scade cu 2%”, afirmație luată în considerare în formula de mai jos (3.2):

$$V = \frac{\ln(0.02)}{\ln\left(\frac{C(x)}{C_0}\right)} \cdot x \quad (3.2)$$

unde  $V$  este vizibilitatea,  $x$  este distanța dintre cameră și țintă,  $C(x)$  este contrastul aparent măsurat la distanța  $x$  și  $C_0$  este contrastul intrinsec (propriu) al țintei. Contrastul actual este calculat în această lucrare folosind luminanța țintelor negre și albe, fiind raportul dintre diferența și suma lor, mai departe cu această informație calculându-se vizibilitatea. Rezultatele sunt comparate cu cele obținute cu un echipament meteorologic oficial compus din doi senzori de vizibilitate (PWD), un transmițător și un receptor optic utilizate pentru măsurarea atenuării unei optice pe două canale separate (CH1 – 1550nm și CH2 – 830nm). Camera video este instalată lângă receptorul optic în timp ce țintele albe și negre (dimensiuni 1x1m) sunt plasate lângă transmițător, la o distanță de 60m între ele. Pe timpul experimentelor realizate în condiții fără ceață, contrastul dintre țintele albe și negre a fost  $C_0 = 0.6$ . În condiții de ceață, camera a măsurat o vizibilitate de 83m iar contrastul a scăzut,  $C(x) = 0.0349$ , rezultat ce dovedește afirmația din definiția enunțată mai sus, raportul dintre contrastul aparent și cel intrinsec fiind de 0.058, mai mare de 0.02 presupus ca fiind pragul de apariție a ceții. Rezultatele dovedesc de asemenea o corelație ridicată între cele obținute cu camera prin măsurarea contrastului și cele bazate pe atenuarea optică, sistemul fiind capabil să identifice și schimbările bruște în vizibilitate (variații ale densității ceții). Comparativ cu senzorii dedicați de determinare a vizibilității, PWD, sistemul propus e capabil să măsoare vizibilitatea de-a lungul unei traiectorii, nu doar într-un punct fix, fiind și mult mai ieftin. Dezavantajul major al sistemului este că nu poate fi utilizat în condiții de noapte.

O altă metodă de detecție a ceții, propusă de Brazda și colab. în [83], folosind același setup descris mai sus, ia în considerare distribuția dimensiunii particulei de ceață (Drop Size Distribution - DSD), estimată cu ajutorul unei distribuții gama modificată cu trei parametri  $a, b$  și  $\alpha$  – determinați pe baza conținutului de apă lichidă (liquid water content), suprafeței particulei și vizibilității (caracterizată prin atenuare). Valorile pentru acești trei parametri, conform ITU-R (International Telecommunication Union – Radiocommunication sector) sunt  $a = 0.027$ ,  $b = 0.3$  și  $\alpha = 3$  pentru o vizibilitate  $V = 150m$ , considerată ca ceață densă și  $a = 607.5$ ,  $b = 3$  și  $\alpha = 6$  pentru o vizibilitate  $V = 450m$ , presupusă ca ceață moderată. Folosind un dispozitiv de monitorizare a volumului particulelor de ceață (Particle Volume Monitor PVM-100), sunt măsurate două momente ale DSD: conținutul de apă lichidă și suprafața particulei. Cel de-al treilea parametru al ceții, vizibilitatea, este determinată prin măsurarea atenuării unei optice după parcurgerea unui strat de ceață, folosind un transmițător și un receptor optic. Metoda este testată în condiții reale, într-o zonă predispusă la ceață. Rezultatele arată o variație mare a celor trei parametri,  $a$  și  $\alpha$  având chiar și valori în afara domeniului presupus inițial. Eroarea medie pătrată este în aproape 20% dintre cazuri peste 0.2. Toate aceste motive i-au determinat pe autori să nu recomande această abordare a estimării unor valori tipice ale DSD.

Senzorul de ceață prezentat în [84] și [32] măsoară date referitoare la densitatea ceții, temperatură și umiditate. Principalul parametru este conținutul de apă lichidă ( $g/m^3$ ), cu acesta fiind estimată densitatea ceții din atmosferă prin măsurarea atenuării fasciculului de lumină în condiții de ceață. Sistemul este compus dintr-o unitate situată în exterior care trimite și recepționează impulsuri scurte infraroșii, impulsurile reflectate

fiind influențate de cantitatea de apă lichidă din mediu. Datele măsurate sunt transmise unei unități aflate în interior și conectată la un PC pentru a fi procesate. Rezultatele sunt reprezentate grafic în Matlab și ceața este determinată aplicând un prag asupra acestor valori. Sistemul prezentat nu funcționează independent, analiza nefiind făcută în timp real, datele trebuie achiziționate, reprezentate grafic, evaluate și concluziile sunt trase offline. În [103] sistemul a fost îmbunătățit, fiind adăugați mai mulți senzori care transmit informații unității centrale iar apoi le memorează în baza de date. Pe lângă cantitatea de apă lichidă, umiditate și temperatură sunt mulți alți parametri monitorizați și comparați cu praguri predefinite pentru a identifica depășirile, astfel încât sistemul să poată notifica apariția ceții. Toate aceste evaluări sunt realizate automat de sistemul propus, în contrast cu metoda prezentată mai sus. Principalul parametru este cantitatea de apă lichidă din atmosferă, pe baza acestuia fiind determinată vizibilitatea după cum urmează:

$$V = 0.024(LWC)^{-065} [m] \quad (3.3)$$

unde V este vizibilitatea și LWC (Liquid Water Content) cantitatea de apă lichidă. Ca și pași următori, autorii plănuiesc combinarea abordării bazate pe măsurarea cantității de apă lichidă cu măsurarea puterii optice pentru a obține rezultate mai solide și pentru validarea încrucișată a acestora, folosind două abordări diferite.

În [104] este prezentat un sistem care măsoară dimensiunea particulei de ceață bazat pe metoda difracției fasciculului laser. Particulele au fost iluminate folosind un fascicul laser vizibil (632nm și 405nm) și monitorizate (observate) cu o cameră video. Creșterea dimensiunii particulelor de ceață măsurate cu actualul sistem a fost comparată cu calculul numeric al creșterii particulelor de apă din nori, ambele fiind funcții exponențiale, timpul de creștere fiind mai ridicat pentru ceața de nivel redus. Rezultatele obținute în urma experimentelor arată că raza particulei de ceață variază cu timpul:

$$r = 3.4 \times e^{t/510} \quad (3.4)$$

în cazul picăturilor de apă cu densitatea de masă de 68mg/l. Valorile razelor particulelor, evaluate în intervalul 0-510 sec (timpul de creștere la o valoare constantă pentru ceața densă) prezentate în această lucrare variază de la 3.4μm la 9.24μm. Rezultatele calculului numerice arată o raza a particulelor de:

$$r = 12.1 \times e^{t/1000} \quad (3.5)$$

la o densitate de masă de 7mg/l, 1000 (sec) fiind timpul de creștere la o valoare constantă pentru ceața de nivel scăzut. Astfel pentru intervalul 0-1000 secunde, dimensiunea particulei variază de la 12 la 32.61μm. În afara formulelor prezentate mai sus, în lucrare nu apar alte elemente sau rezultate care să susțină afirmațiile autorilor, articolul fiind sărac din punct de vedere al experimentelor și al rezultatelor. Metoda mai are nevoie să fie certificată cu experimente realizate în laborator sau în condiții reale de ceață.

### 3.5 Reacția observatorilor umani

După prezentarea diferitelor metode și sisteme pentru determinarea densității ceții și a distanței de vizibilitate, rămân încă câteva semne de întrebare: sunt aceste măsurători valide pentru o ființă umană? Aceasta este din punctul nostru de vedere o mare provocare în crearea unui sistem robust și fiabil pentru măsurarea vizibilității. Pe de altă parte, dacă facem referire la mașinile autonome, întrebarea ar fi cum reușesc acestea să identifice semnele de circulație în condiții de vreme nefavorabile cu vizibilitate redusă sau care va fi limita de vizibilitate garantată pentru aceste vehicule.

Un experiment foarte interesant legat de influența luminanței și a contrastului în percepția vizuală este prezentat în [105]. Conform studiilor din literatură, răspunsul ființei umane la întâmplări iminente este condus de mecanismul închis (OFF) mai mult decât la mecanismul deschis (ON), ceea ce înseamnă că ființele umane reacționează mai bine la obiectele închise observate pe un plan de fundal deschis decât la cele deschise observate pe un plan închis. Pe parcursul experimentelor au fost luate în considerare patru variante de stimuli, două dimensiuni de discuri, trei tipuri de prezentări, trei timpi de extrapolare și trei condiții de feedback (reacții), având în total 216 serii de test, fiecare repetată de două ori. Pentru primul experiment, realizat pe 12 participanți (observatori), a fost variată doar luminozitatea obiectelor ce apăreau iminent, în timp ce pentru cel de-al doilea experiment, realizat pe 15 participanți, a fost variată atât luminanța obiectelor ce apareau iminent cât și luminanța planului de fundal. Concluzia după aceste experimente este că reacțiile ființei umane nu sunt afectate de schimbări în luminanță și contrast. Pe de altă parte, performanțele sunt influențate de diferitele regimuri de feedback, timpul de reacție fiind mai rapid când ființa umana primește un feedback. Aceasta ne demonstrează faptul că în viața reală un feedback primit de șofer în condiții de ceață poate fi extrem de util, având astfel un timp de reacție mai rapid și putând evita o posibilă coliziune. În experimentele prezentate au fost testate doar un nivel de luminanță și un nivel de contrast, dar pentru a confirma utilitatea și aplicabilitatea metodei ar fi nevoie de testarea mai multor nivele dar și a unor scenarii complexe reale.

Tot pe analiza timpului de reacție al șoferilor se bazează și abordarea propusă de Tarel și colab. în [53], unde dorește să probeze utilitatea dispozitivului Head-up Display pentru eliminarea ceții din imagine și să ofere o vizibilitate mai clară șoferilor, aceștia având posibilitatea cu ajutorul unui astfel de sistem să „vadă în spatele ceții”. Rezultatele prezentate în lucrare sunt însă doar cele obținute în urma unor teste de laborator, aplicabilitatea sistemului trebuind să fie dovedită și în condiții reale.

În [82], metodă deja abordată în subcapitolul 3.4.2, este prezentat un sistem în care măsurarea puterii optice este combinată cu analiza variației contrastului. Rezultatele prezentate (vezi subcapitolul 3.4.2) confirmă teoria care afirmă că scăderea contrastului este principalul efect al ceții asupra vizibilității. În [31] autorul tezei prezintă o serie de experimente care abordează legătura dintre diminuarea intensității luminii și scăderea vizibilității în condiții de ceață. În primă fază este realizată concordanța dintre puterea de la intrarea dispozitivului laser și puterea optică la ieșire ca mai apoi să se analizeze influența ceții asupra puterii optice prin generarea diferitelor condiții de ceață și analiza puterii optice cu ajutorul unui receptor optic. În felul acesta ceața poate fi împărțită în mai multe categorii – ceață moderată, ceață normală și ceață densă. În cea de-a doua

parte a experimentelor, se introduce o cameră și o tabelă cu optotipuri în modelul experimental și se generează diferite niveluri de ceață la fel ca în prima serie de măsurători. Ideea propusă în lucrare este că ceața are același efect asupra vizibilității ca și bolile de vedere, astfel fiind propusă o analogie între diferitele niveluri de ceață și nivelul acuității vizuale, evaluat prin identificarea optotipurilor de pe o tabelă cu ajutorul unei camere video, extragerea acestora făcându-se printr-un algoritm OCR (Optical Character Recognition). Pe baza celor prezentate mai sus, având analogia dintre scăderea puterii optice și impactul asupra acuității vizuale, este nevoie de un sistem care monitorizează doar puterea optică a unei surse de lumină pentru a putea calcula vizibilitatea. Munca este continuată în [106] unde este prezentat un setup de laborator mult mai complex cu ajutorul căruia se pot evalua o mare parte din metodele din literatură referitoare la efectul ceții asupra vizibilității. După realizarea unei clasificări a acestor metode, e nevoie ca rezultatele să se confirme și în condiții reale, prin realizarea unor măsurători pe autostrăzi sau în diferite scenarii complexe din interiorul orașelor.

În [100] este prezentată relația dintre reflexia radarului și vizibilitate, reflexia fiind măsurată cu un radar pentru nori ce funcționează pe 35GHz iar vizibilitatea cu un senzor in situ, la o stație meteorologică. Rezultatele obținute în urma măsurătorilor sunt comparate cu cele oferite de o sondă a unui spectrometru de dispersie, care oferă informații referitoare la distribuția dimensiunii particulei, aceste informații putând fi folosite și pentru determinarea reflexivității radarului și a vizibilității. Legătura dintre vizibilitate și reflexivitate (atenuare) este corelată în:

$$V = -\ln \epsilon / \beta_{ext} \quad (3.6)$$

unde  $V$  este vizibilitatea,  $\epsilon$  este pragul contrastului (în mod normal este setat la 0.5) și  $\beta_{ext}$  este coeficientul de extincție.

### 3.6 Concluzii parțiale și contribuții

În capitolul de față a fost realizată o analiză asupra metodelor și sistemelor din literatură, publicate în ultimii 10 ani, referitoare la detecția vizibilității și îmbunătățirea acesteia în condiții de ceață. În perioada următoare principalul scop al companiilor din industria automotive va fi dezvoltarea autovehiculului autonom și cu siguranță cerințele referitoare la vizibilitate în condiții de vreme nefavorabilă vor fi de mare importanță. Actualele metode din literatură se bazează pe procesare de imagini, măsurarea puterii optice sau pe diverși senzori, unii dintre ei deja existenți de vehiculele comerciale dar utilizați pentru alte funcționalități. Prima categorie, cea a metodelor de procesarea a imaginilor, utilizează camerele video, dispozitive care beneficiază de foarte multe avantaje cum ar fi libertatea de implementare a diversilor algoritmi, flexibilitate sau prețul scăzut al acestora dar pe de altă parte au și o serie de dezavantaje cum ar fi situațiile în care sunt complet „orbite” de alți participanți la trafic, de mediul înconjurător sau de condițiile meteo. Aceste metode pot fi aplicate pentru condiții cu ceață scăzută, dar dacă ceața devine mai densă sistemul nu e capabil să mai ofere rezultate valide. Unele metode publicate în literatură pot funcționa doar în condiții de zi, ceea ce le face inutilizabile în

industria automotive unde cerințele sunt ca sistemul să funcționeze în timp real, în diferite scenarii complexe, 24h/zi.

Sistemele bazate pe măsurarea puterii optice, prin transmisie directă sau reflexie cauzată de dispersie, aduc îmbunătățiri unor puncte slabe descrise în cazul camerelor: rezultatele nu mai sunt influențate de condițiile de zi sau noapte, pot măsura și ceața foarte densă, complexitatea de calcul este mai redusă comparativ cu cealaltă categorie făcându-le capabile să reacționeze la schimbările bruște din mediu, condiție importantă pentru aplicațiile ce necesită funcționarea în timp real. Rezultatele oferite de aceste sisteme pot fi eronate din cauza infrastructurii (poduri, curbe, dealuri etc.) sau a altor participanți la trafic, de aceea concluzia după analiza tuturor acestor metode și sisteme este că ar fi nevoie de interconectarea a cel puțin două sisteme diferite pentru a-și valida rezultatele unul altuia.

O mare provocare în acest domeniu, va fi demonstrarea faptului că rezultatele oferite de sistemele prezentate mai sus sunt valide pentru o ființă umană. Validitatea rezultatelor este un punct extrem de important și în cazul automobilului autonom, care trebuie să identifice drumul, semnele de circulație, alte vehicule sau obiecte de pe carosabil în condiții de vreme nefavorabilă iar companiile automotive trebuie să definescă care este limita garantată de vizibilitate pentru aceste vehicule.

Acestă sinteză, prezentată concentrat în Tabelul 1, este un punct de început pentru dezvoltarea unui sistem fiabil de detecție și îmbunătățire a vizibilității, prin prezentarea punctelor slabe ale metodelor și sistemelor actuale, ceea ce poate duce la generarea de noi idei pentru îmbunătățirea lor. Adicional sunt prezentate modalități de interconectare a acestor sisteme pentru a obține rezultate de o acuratețe mai ridicată.

Pe baza criteriilor de evaluare din tabelul 1, putem concluziona că cel mai potrivit sistem pentru determinarea și îmbunătățirea vizibilității în condiții de ceață trebuie să fie format dintr-o cameră și un dispozitiv capabil să măsoare puterea optică a unui fascicul după traversarea unui strat din atmosferă. Ambele categorii au propriile dezavantaje dar punându-le împreună o mare parte din acestea pot fi corectate, fiecare sistem putând funcționa ca și back-up pentru celălalt și poate valida rezultatele celuilalt. Un exemplu ar fi sistemul compus dintr-o cameră și un LIDAR propus în [35], ambele subsisteme fiind deja disponibile pe mașinile comerciale, fiind capabil să ofere rezultate de încredere în timp real, 24h/zi. Rezultatele obținute de un vehicul pot fi distribuite altor participanți din trafic din zona respectivă, în acest fel creându-se o rețea de sisteme. Ca și direcții de îmbunătățire a unui astfel de sistem ar fi creșterea domeniului de măsurare a LIDAR-ului și utilizarea unor camere infraroșii ce pot oferi rezultate valide și în condiții de noapte.

În capitolele următoare sunt prezentate experimentele și rezultate obținute în urma lor, ce ne vor duce la o concluzie și mai clară asupra unui model de sistem valid a fi folosit pe drumurile publice pentru a crește siguranța în trafic.

Tab. 1 – Evaluarea metodelor din literatură

Metode		Criterii de evaluare							
		Complexitate de calcul	Disponibilitate pe mașini	Viteza de prelucrare	Utilizare zi/noaptea	Utilizare în timp real	Distribuție rezultate	Fiabilitate	Legătură cu acuitatea vizuală
Metode de îmbunătățire a vizibilității	Legea lui Koschmieder [42]- [53]	Medie/Ridicată	Parțial (cameră)	Medie	Doar pe zi	Da	Local pentru 1 utilizator	Nu (nu pentru toate cazurile)	Da
	Metoda „Dark Channel Prior” [54] - [64]	Ridicată	Parțial (cameră)	Medie	Doar pe zi	Da	Local pentru 1 utilizator	Nu (nu pentru toate cazurile)	Da
	Segmentarea imaginilor folosind o singură imagine la intrare [65]- [70]	Ridicată	Parțial (cameră)	Scăzută	Doar pe zi	Nu	Local pentru 1 utilizator	Nu	Da
	Segmentarea imaginilor folosind mai mult imagini la intrare [71] - [74]	Ridicată	Parțial (cameră)	Medie	Doar pe zi	Da (notifică șoferii)	Local pentru mai mulți utilizatori (autostrăzi)	Nu (nu pentru toate cazurile)	Da
	Metode de învățare automată [75] - [78]	Ridicată	Parțial (cameră)	Ridicată	Doar pe zi	Da	Local pentru mai mulți utilizatori (autostrăzi)	Nu (dependență de cantitatea de date utilizată pentru învățare)	Da
Măsurarea puterii optice	Măsurarea transmisiei directe [31], [81]	Scăzută	Nu	Ridicată	Ambele	Da	Local pentru mai mulți utilizatori (autostrăzi)	Da	Nu (trebuie încă dovedit)
	Măsurarea undeii reflectate [32]- [35], [84]- [85]	Scăzută	Parțial (LIDAR)	Ridicată	Ambele	Da	Local pentru unul sau mai mulți utilizatori	Da	Nu (trebuie încă dovedit)
	Analiza imaginilor bazată pe caracteristicile globale [86]- [95]	Medie	Parțial (cameră)	Scăzută	Ambele	Nu	Local pentru 1 utilizator	Nu	Da
Senzori și sisteme	Cameră + LIDAR [35], [85]	Ridicată	Parțial (mașinile de ultimă generație)	Ridicată	Ambele	Da	Local pentru unul sau mai mulți utilizatori	Da	Da



	Radar [100]	Medie	Parțial (mașinile de ultimă generație)	Ridicată	Ambele	Da	Local pentru unul sau mai mulți utilizatori	Nu (trebuie probat în șcenarii mai complexe )	Da
	Sisteme staționar pentru autostrăzi (laser) [101]	Medie	Nu (sistem staționar)	Medie	Ambele	Da	Local (poate fi extins la o zonă mai largă)	Da	Nu (trebuie încă dovedit)
	Rețele de senzori wireless [102]	Ridicată	Nu (sistem staționar)	Medie	Ambele	Da	Zone extinse	Nu (nu a fost testat în condiții reale)	Nu
	Dispozitiv de măsurare a vizibilității bazat pe cameră [81], [82]	Medie	-	Medie	Doar pe zi	Nu	Local pentru mai mulți utilizatori (autostrăzi )	Nu (nu a fost testat în condiții reale)	Nu
	Senzor de ceață (LWC, dimensiunea particulei, vizibilitate) [83]	Medie	Nu (PVM-100)	Medie	Ambele	-	Local pentru mai mulți utilizatori (autostrăzi )	Nu (rata erorii ~20%)	Nu
	Senzor de ceață (densitate, temperatură, umiditate) [32], [84]	Medie	Nu	Scăzută	Ambele	Nu	Local pentru mai mulți utilizatori (autostrăzi )	Nu	Nu
	Senzor de ceață (dimensiunea particulei – laser și cameră) [104]	Ridicată	Parțial (mașinile de ultimă generație)	Ridicată	Doar pe zi	Nu	Local pentru mai mulți utilizatori (autostrăzi )	Nu	Nu

## 4 MODELAREA MATEMATICĂ A PRINCIPALELOR METODE UTILIZATE ÎN DOMENIUL VIZIBILITĂȚII ÎN CEAȚĂ

### 4.1 Măsurarea domeniului de vizibilitate

Ecuția de bază pentru măsurarea domeniului de vizibilitate este legea Bouguer-Lambert:

$$F = F_0 e^{-\sigma x} \quad (4.1)$$

unde  $F$  este fluxul luminos recepționat după o lungime a traseului  $x$  în atmosferă și  $F_0$  este fluxul pentru  $x = 0$ .

De reținut că această lege este valabilă doar pentru lumina monocromatică, dar poate fi aplicată la un flux spectral la o aproximare bună. Factorul de transmisie este:

$$T = F/F_0 \quad (4.2)$$

Relațiile matematice dintre domeniul de vizibilitate meteorologic și diferitele variabile care reprezintă starea optică a atmosferei pot fi deduse din legea Bouguer-Lambert.

Din ecuațiile (4.1) și (4.2) se poate scrie:

$$T = F/F_0 = e^{-\sigma x} \quad (4.3)$$

Dacă această lege este aplicată definiției domeniului meteorologic de vizibilitate  $T = 0,05$  și se stabilește  $x = V_{\text{met}}$  (reprezentând domeniului meteorologic de vizibilitate) ecuația poate fi rescrisă:

$$T = 0.05 = e^{-\sigma V_{\text{met}}} \quad (4.4)$$

Prin urmare, relația matematică a domeniului meteorologic de vizibilitate (MOR) cu coeficientul de extincție este:

$$V_{\text{met}} = (1/\sigma) \cdot \ln (1/0.05) \gg 3/\sigma \quad (4.5)$$

Atunci când se combină ecuația (4.3), după deducerea din legea Bouguer-Lambert, cu ecuația (4.5), se obține următoarea ecuație:

$$V_{\text{met}} = x \cdot \ln (0.05)/\ln (T) \quad (4.6)$$

Această ecuație este utilizată ca ecuație de bază pentru măsurarea MOR cu transmisiometrele.

## 4.2 Legile lui Koschmieder

Koschmieder a studiat (în 1924) atenuarea luminanței prin atmosferă și a propus o relație între atenuarea luminanței unui obiect L, aflat la distanța d, și luminanța obiectului determinată din apropiere,  $L_0$  [2]:

$$L = L_0 \cdot e^{-\sigma x} + L_\infty(1 - e^{-\sigma x}) \quad (4.7)$$

unde:

- L este luminanța obiectului așa cum este percepută de către șofer (la o anumită distanță x);
- x este distanța față de obiect (între obiect și șofer);
- $L_0$  este luminanța obiectului măsurată din apropiere ( $x=0$ );
- $L_\infty$  este luminanța atmosferică (a cerului);
- $\sigma$  este coeficientul de extincție;

Această ecuație afirmă că luminanța unui obiect văzut prin ceață este atenuată cu un factor exponențial  $e^{-\sigma x}$ ; pâcla atmosferică rezultată din împrăștierea luminii (razelor solare) în ceață, între obiect și observator este exprimată prin  $L_\infty(1 - e^{-\sigma x})$ .

Ceața este compusă din particule (picături) mici de apă care plutesc în atmosferă și împrăștie (dispersează) lumina. Această împrăștiere necontrolată a luminii în mediu, în diferite direcții, duce mai departe la alte reflexii, refracții sau dispersii din obiectele ce le întâlnește, putând astfel afecta vizibilitatea șoferilor ce se deplasează pe drumurile publice. Modelul Koschmieder se aplică doar pentru condiții de zi (mai jos va fi descris și modelul Allard aplicabil pentru condiții de noapte).

Modelul include două efecte vizuale:

- luminanța intrinsecă ( $L_0$ ) a unui obiect scade exponențial cu distanța față de observator;
- densitatea ceții și contribuția luminanței atmosferice crește exponențial cu distanța;

Prin rescrierea ecuației (4.7), împărțind-o la  $L_\infty$ , obținem următoarele:

$$C = \left(\frac{L_0 - L_\infty}{L_\infty}\right) e^{-\sigma x} = C_0 e^{-\sigma x} \quad (4.8)$$

care este cunoscută sub numele de legea lui Koschmieder privind contrastul aparent (C) al unui obiect aflat pe fundalul cerului la o anumită distanță x, considerând contrastul inherent  $C_0$ .

Ecuația 4.8 mai este cunoscută și ca legea atenuării lui Duntley, iar aceasta afirmă că un obiect cu contrastul  $C_0$ , având cerul în fundal, este perceput la o distanță x ca având contrast C. Folosind această lege se poate obține distanța de vizibilitatea meteorologică

("cea mai mare distanță la care un obiect negru, având contrastul  $C_0 = 1$ , de o dimensiune adecvată poate fi văzut pe fundalul cer/orizont").

Conform Comisiei Internaționale de Iluminare, distanța de vizibilitate meteorologică, notată  $V_{met}$ , este distanța la care contrastul unui obiect negru este atenuat cu 95%. Aceasta poate fi legată de coeficientul de extincție  $\sigma$ , care duce la următoarea formula 4.5.

Eliminarea ceții din imagini presupune estimarea  $L_0$  din  $L$ , adică determinarea parametrilor  $\sigma$ ,  $x$  și  $L_\infty$ ; presupunând faptul că dispozitivul (camera) video are un răspuns liniar, formula de refacere a imaginii originale devine:

$$L_0 = L \cdot e^{\sigma x} + L_\infty(1 - e^{\sigma x}) \quad (4.9)$$

Această ultimă ecuație se aplică intensității pixelilor, presupunând că această intensitate este proporțională cu  $L$ . [53]

Funcția de răspuns a unei camere foto/video poate fi calculată folosind ecuația lui Koschmieder pentru a modela lumina scenei la intensitatea imaginii. Astfel, intensitatea percepută în imagine este rezultatul unei funcții ( $f$ ) aplicată ecuației:

$$I = f(L) = R e^{-\sigma x} + A_\infty(1 - e^{-\sigma x}) \quad (4.10)$$

unde  $A_\infty$  este intensitatea cerului și  $R$  este intensitatea pixelului intrinsec [49].

### 4.3 Legea lui Allard

Dacă legea lui Koschmieder este aplicabilă doar pentru condiții de zi, măsurarea vizibilității meteorologice pe timp de noapte se realizează aplicând legea lui Allard. Distanța la care o lumină poate fi observată noaptea nu este legată doar de domeniul meteorologic de vizibilitate (MOR). Pe lângă domeniul meteorologic de vizibilitate și intensitatea luminii, aceasta mai depinde și de iluminarea din ochiul observatorului cauzată de toate celelalte surse de lumină. Așa se explică de ce șoferii nu observă unele obiecte de pe carosabil în momentul în care luminile farurilor celorlalți participanți la trafic ajung în ochii lor.

Allard a propus, în 1876, legea atenuării luminii dintr-o sursă punctuală de intensitate cunoscută ( $I$ ) în funcție de distanța ( $x$ ) și coeficientul de extincție ( $\sigma$ ). Iluminarea ( $E$ ) a unei surse de lumină punctată este dată de:

$$E = I \cdot x^{-2} \cdot e^{-\sigma x} \quad (4.11)$$

Atunci când lumina este abia vizibilă,  $E = E_t$ , rezultă următoarele:

$$\sigma = (1/x) \cdot \ln \{I/(E_t \cdot x^2)\} \quad (4.12)$$

Înlocuind ecuația 4.12 în ecuația 4.5, se poate scrie:

$$V_{met} = x \cdot \ln (1/0.05) / \ln (I/(E_t \cdot x^2)) \quad (4.13)$$

#### 4.4 Metoda „Dark channel Prior”

Metoda „Dark channel prior”, utilizată pentru eliminarea ceții având o singură imagine la intrare este o metodă statistică bazată pe imagini fără ceață captate în mediul exterior. În majoritatea regiunilor locale care nu conțin fundal atmosferic (cerul), este foarte probabil ca unii pixeli (numiți "pixeli întunecați") să aibă o intensitate foarte mică în cel puțin un canal de culoare (RGB). În imaginea cu ceață, intensitatea acestor pixeli întunecați din canalul menționat este în principal dată de lumina atmosferică (airlight). Prin urmare, acești pixeli întunecați pot furniza în mod direct o estimare precisă a opacității din imagine.

În domeniul imaginilor și graficii pe calculator, modelul folosit la scară largă pentru a descrie formarea unei imagini cu ceață este următorul:

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (4.14)$$

unde:

- $I$  este intensitatea observată ( $I(x)$  – imaginea cu ceață)
- $J$  este radianța scenei ( $J(x)$  - imaginea fără ceață)
- $A$  este lumina (strălucirea) atmosferică globală
- $t$  este transmisia medie care descrie porțiunea de lumină ce nu este împrăștiată (dispersată) și ajunge la camera ( $t(x)$  - raportul de transmisie)
- $J(x) t(x)$  se numește atenuare directă
- $A (1 - t(x))$  se numește „airlight” sau lumina atmosferică (care se definește ca fiind lumina dispersată sau difuzată în aer de praf, ceață etc.; aceasta limitează vizibilitatea obiectelor îndepărtate, întunecate, făcându-le să se amestece cu fundalul atmosferic).

Scopul procesului de eliminare a ceții este defapt acela de a recupera  $J$ ,  $A$  și  $t$  din  $I$ , (îndepărtarea ceții se face prin recuperarea  $J(x)$ ,  $A$  și  $t(x)$ ).

Atunci când atmosfera este omogenă, transmisia  $t$  poate fi exprimată ca:

$$t(x) = e^{-\sigma d(x)} \quad (4.15)$$

unde  $\sigma$  este coeficientul de disperisie atmosferică. Această formulă indică faptul că radianța scenei este atenuată exponențial cu adâncimea scenei  $d$ .

Din punct de vedere geometric, ecuația (4.14) înseamnă că în spațiul de culoare RGB vectorii  $A$ ,  $I(x)$  și  $J(x)$  sunt coplanari și punctele lor finale sunt colineare (fig. 4.1).

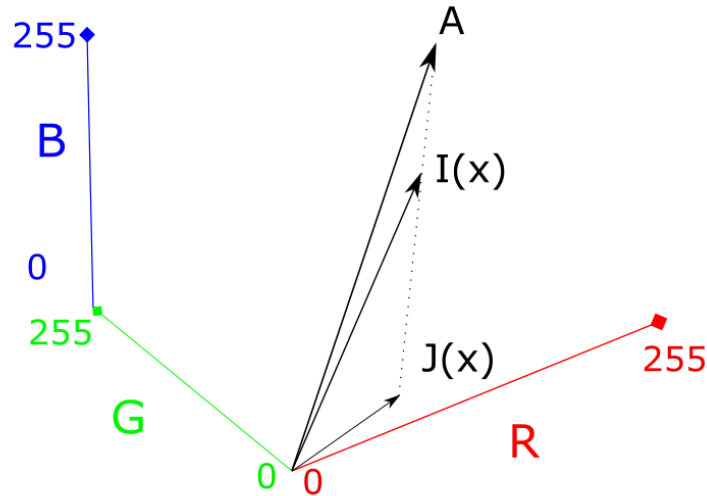


Fig. 4.1. Interpretarea geometrică a termenilor A, I, J

Transmisia  $t$  este raportul dintre două segmente de linie:

$$t(x) = \frac{\|A - I(x)\|}{\|A - J(x)\|} = \frac{A^c - I^c(x)}{A^c - J^c(x)} \quad (4.16)$$

unde  $c \in \{R, G, B\}$  este indexul canalului de culoare.

Metoda priorității canalului întunecat („dark channel prior”) se bazează pe următoarea observație privind imaginile exterioare: în majoritatea zonelor dintr-o imagine ce nu conțin fundalul atmosferic, cel puțin un canal de culoare are o intensitate foarte mică pentru câțiva pixeli. Cu alte cuvinte, intensitatea minimă într-o astfel de zonă ar trebui să aibă o valoare foarte scăzută. Formal, pentru o imagine  $J$ , este definită:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{R, G, B\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y))) \quad (4.17)$$

unde:

- $J^c$  este un canal de culoare al imaginii  $J$  și
- $\Omega(x)$  este o zonă locală (fereastră) din imagine centrat în  $x$ .

Cu excepția regiunii cerului, intensitatea lui  $J^{\text{dark}}$  este scăzută și tinde către zero, dacă  $J$  este o imagine exterioară lipsită de lumină. Canalul  $J^{\text{dark}}$  este numit canalul întunecat al lui  $J$  („dark channel”), iar examinarea statistică de mai sus este cunoscută ca și metoda „Dark channel prior”.

Intensitățile scăzute în canalul întunecat sunt cauzate, în principal, de trei factori:

- *Umbre* - spre exemplu, umbrele cauzate de mașini, clădiri și interiorul ferestrelor în imagini urbanistice, sau umbrele frunzelor, copacilor și pietrelor în imagini peisagistice;
- *Obiecte colorate sau suprafețe* - spre exemplu, orice obiect (iarba verde / arbore / plantă, floarea / frunza roșie sau galbenă și suprafața albastră a apei) lipsit de culoare în oricare canal de culoare, va duce la valori scăzute în canalul întunecat;
- *Obiecte sau suprafețe întunecate* - spre exemplu, trunchi de copac întunecat și o piatră. Deoarece imaginile naturale, captate în aer liber, sunt de obicei pline de umbre și colorate, canalele întunecate ale acestor imagini sunt cu adevărat întunecate.

## 4.5 Dispersia Rayleigh

Majoritatea efectelor optice întâlnite în atmosferă pot fi reproduse luând în considerare trei modele diferite: dispersia Rayleigh ( $x \ll 1$ ) dispersia Mie ( $x \sim 1$ ) și dispersia geometrică ( $x \gg 1$ , caz în care se folosește optica geometrică), unde  $x$  este parametrul de difracție și se calculează  $x = 2\pi r/\lambda$  (ca raportul dintre raza particulei ( $r$ ) și lungimea de undă ( $\lambda$ ) a luminii incidente). Aceste instrumente matematice permit prezicerea modului în care lumina se dispersează din obiecte de dimensiuni diferite; ele modelează, de asemenea, felul în care lumina se reflectă din compuși de diferite dimensiuni suspendați în atmosfera inferioară, cum ar fi polenul, praful, poluanții, etc.

În figura 4.2 sunt ilustrate cele trei zone menționate mai sus împreună cu efectul de dispersie pentru fiecare zonă. Pe axa orizontală apare dimensiunea particulei de dispersie, evidențiată ca raportul dintre raza particulei și lungimea de undă a luminii incidente ( $r/\lambda$ ). Regiunea Rayleigh este considerată până în punctul în care raza particulei este aproximativ o zecime din lungimea de undă a undei incidente, moment în care începe regiunea Mie al cărei interval se încheie la momentul la care raza particulei este în domeniul lungimii de undă al undei incidente ( $r/\lambda = 1.6$ ); din acest punct se poate discuta despre regiunea optică. Pe axa verticală apare raportul dintre  $\sigma_i$  (secțiunea de eficiență transversală - raportul dintre fluxul de energie absorbit, împrăștiat sau/și stins de o particulă și densitatea fluxului energetic incident) și  $\pi r^2$  (aria particulei). Secțiunile de eficiență transversală  $\sigma_i$  și coeficienții de eficiență  $Q_i$  ai dispersiei Mie, sunt noțiuni ce se detaliază în subcapitolul 4.6. Cu alte cuvinte se poate observa intensitatea sau energia dispersiei în diferitele regiuni. *În funcție de aplicația dorită se pot astfel alege frecvențele dispozitivelor utilizate ținând cont de dimensiunea obiectului țintă.* Spre exemplu, în cazul radarului de dorit ar fi ca energia de dispersie să fie cât mai mare pentru a fi capabil să detecteze cu o precizie ridicată obiectele. La fel se întâmplă și în cazul lidarului. Cu cât dimensiunea particulei crește comparativ cu lungimea de undă a undei incidente, se poate observa faptul că efectul dispersiei devine constant. În figura 4.2 sunt prezentate două cazuri, la limitele dintre cele trei regiuni, în care pentru aceeași dimensiune a particulei ( $r=0.5\mu\text{m}$ ), se evidențiază efectul de dispersie pentru două lungimi de undă a unor unde incidente; dacă pentru  $\lambda=5\mu\text{m}$  dispersia este mare, în zona respectivă fiind și variații puternice ale energiei de dispersie, în cel de-al doilea caz, pentru  $\lambda=300\text{nm}$ , energia de dispersie scade și se aplatizează.

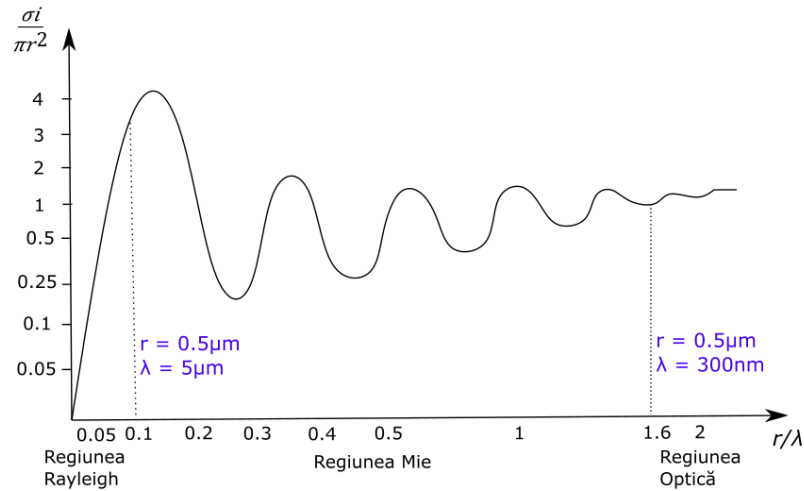


Fig. 4.2. Reprezentarea efectului de dispersie în cele trei regiuni – Rayleigh, Mie și optică

Prima metodă, Rayleigh, se referă la dispariția fasciculului de lumină în atmosferă, cauzată de aerul pur, cu alte cuvinte dispersia Rayleigh se referă la dispersia radiațiilor electromagnetice prin particule care au o rază mai mică de aproximativ 1/10 din lungimea de undă a radiației. Procesul a fost numit în onoarea lui Lord Rayleigh, care a publicat în 1871 o lucrare care descrie acest fenomen.

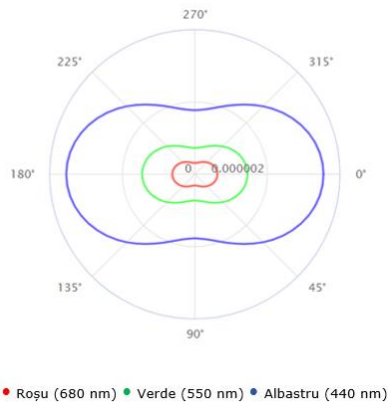


Fig. 4.3 Diagrama polară a dispersiei Rayleigh pentru trei lungimi de undă diferite

Unghiul prin care lumina soarelui din atmosferă este împrăștiată de moleculele gazelor constitutive variază invers proporțional cu lungimea de undă (formula 4.19). Astfel, prima observație referitoare la dispersia Rayleigh este aceea că, cantitatea de lumină împrăștiată este puternic dependentă de lungimea de undă ( $\lambda$ ) a luminii de intrare.



Diagrama polară de mai sus (fig.4.3) prezintă dispersia Rayleigh pentru trei lungimi de undă diferite, pe baza formulei (4.19). Prin urmare, lumina albastră, care este la marginea inferioară a spectrului vizual/vizibil (lungimi de undă scurtă de ~430nm), va fi împrăștiată/dispersată mult mai puternic decât lumina roșie cu lungime de undă lungă (~650nm), după cum se poate observa în figura 4.4.

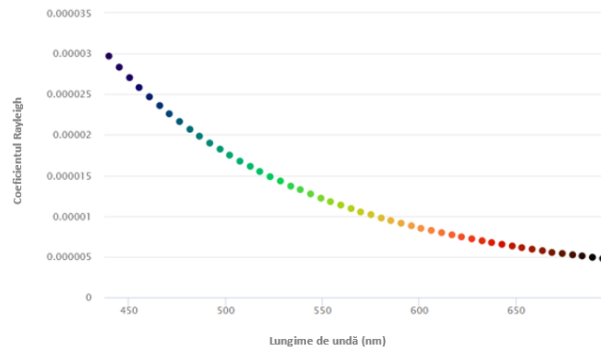


Fig. 4.4 Impactul dispersiei asupra diferitelor lungimi de undă

Acestui fapt se datorează culoarea albastră a cerului însorit, ochiul uman observând doar lumina împrăștiată, în diferite direcții dinspre Soare. Pe de altă parte, dacă lumina parcurge o distanță foarte mare, aceasta va fi pierdută prin dispersie. Acest lucru poate fi observat la apus, când lumina se deplasează aproape paralel cu suprafața pământului, astfel lumina albastră fiind pierdută. Al doilea aspect important este variația intensității luminii dispersate cu direcția, în cazul dispersiei Rayleigh existând simetrie completă în cazul dispersiei în față și înapoi din particule singulare după cum se poate observa în figura 4.3.

Acest fenomen optic este descris matematic prin ecuația de dispersie Rayleigh, care indică fracțiunea din lumina originală  $I_0$  care este dispersată spre direcția  $\theta$ :

$$I = I_0 S(\lambda, \theta, h) \quad (4.18)$$

$$S(\lambda, \theta, h) = \frac{\pi^2(n^2-1)^2}{2} \frac{\rho(h)}{N} \frac{1}{\lambda^4} (1+\cos^2\theta) \quad (4.19)$$

unde:

- $S(\lambda, \theta, h)$  – indice Rayleigh
- $I_0$  este intensitatea luminii înainte de interacțiunea cu particula;
- $\lambda$  este lungimea de undă a luminii de intrare;
- $\theta$  este unghiul de dispersie (împrăștiere);
- $h$  este poziția (înălțimea) punctului;
- $n$  este indicele de refracție;
- $N$  este densitatea atmosferei (numărul de molecule pe metru cub);
- $\rho(h)$  este termenul referitor la densitatea particulelor. Acest număr este egal cu 1 la nivelul mării și scade exponențial cu  $h$ ;

- $\frac{\rho(h)}{N}$  este raportul de densitate ;
- $\frac{1}{\lambda^4}$  este termenul referitor la lungimea de undă a luminii de intrare;
- $(1+\cos^2\theta)$  este termenul referitor la geometria dispersiei.

Ecuția dispersiei Rayleigh indică cât de multă energie este dispersată înspre o anumită direcție. Nu spune totuși câtă energie este împrăștiată în totalitate. Pentru a calcula acest lucru, trebuie să ținem seama de dispersia energiei în toate direcțiile.

$$\beta(\lambda, h) = \frac{8\pi^3(n^2-1)^2}{3} \frac{\rho(h)}{N} \frac{1}{\lambda^4} \quad (4.20)$$

unde  $\beta(\lambda, h)$  indică fracțiunea de energie care este pierdută la dispersie după o coliziune cu o singură particulă. Acesta este adesea denumit coeficientul de dispersie Rayleigh sau coeficientul de extincție. În cazul în care  $h=0$ , putem determina coeficientul de dispersie Rayleigh la nivelul mării ( $h = 0$ ):

$$\beta(\lambda) = \frac{8\pi^3(n^2-1)^2}{3} \frac{1}{N} \frac{1}{\lambda^4} \quad (4.21)$$

Ecuția originală care descrie dispersia Rayleigh  $S(\lambda, \theta, h)$  (4.19) poate fi descompusă în două componente: coeficientul de dispersie (împrăștiere),  $\beta(\lambda, h)$ , care controlează intensitatea și geometria dispersiei,  $\gamma(\theta)$ , care controlează direcția:

$$S(\lambda, \theta, h) = \beta(\lambda, h) \gamma(\theta) \quad (4.22)$$

$$\gamma(\theta) = \frac{S(\lambda, \theta, h)}{\beta(\lambda, h)} = \frac{3}{16\pi} (1+\cos^2\theta) \quad (4.23)$$

expresie ce nu mai depinde de lungimea de undă a luminii de intrare.

Modelul dispersiei Rayleigh nu mai este valabil atunci când dimensiunea particulei devine mai mare decât aproximativ o zecime din lungimea de undă a radiației incidente. În cazul particulelor cu dimensiuni mai mari decât acestea, modelul dispersiei Mie poate fi folosit pentru a identifica intensitatea radiației dispersate. Aceasta, în cazul dispersiei Mie, este dată de suma unei serii infinite de termeni, nu de o simplă expresie matematică cum s-a văzut în cazul Rayleigh.

## 4.6 Dispersia Mie

Dacă dispersia Rayleigh face ca cerul să fie albastru, iar apusurile de soare să fie roșii, dispersia Mie dă norilor culoarea lor albă. Dispersia Mie are loc atunci când diametrele particulelor atmosferice sunt similare cu lungimile de undă ale luminii împrăștiate fiind recomandată oficial pentru particule sub 50 micrometri în ghidul ISO 13321: 2009. Praful, polenul, fumul și picăturile de apă microscopice care formează ceață, sau norii, sunt cauze comune ale împrăștierii Mie. Dispersia Mie apare mai ales în

porțiunile inferioare ale atmosferei, unde particulele mai mari predomină mai ales în condiții cețoase sau nouroase.

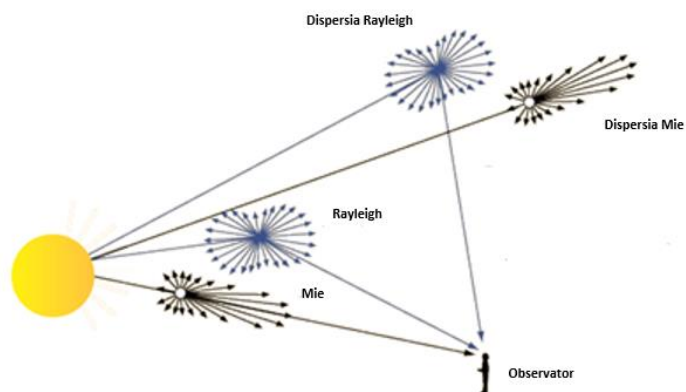


Fig. 4.5. Impactul dispersiei Rayleigh și Mie

După cum s-a menționat mai sus, intensitatea radiației dispersiei Mie este dată de suma unei serii infinite de termeni, nu de o simplă expresie matematică. Împrăștierea în acest domeniu de dimensiuni ale particulelor, diferă de împrăștierea Rayleigh în mai multe privințe: este aproape independentă de lungimea de undă și este mai mare în direcția înainte (lobul frontal) decât în direcția inversă. Cu cât dimensiunea particulei este mai mare, cu atât mai multă lumină este împrăștiată în direcția înainte (fig. 4.5).

Teoria Mie, enunțată de fizicianul german Gustav Mie în 1908, este o teorie a absorbției și împrăștierii undelor electromagnetice plane de particule izotrope uniforme, având forme simple (sferă, cilindru infinit) care se află într-un mediu infinit dielectric uniform și izotrop.

Scopul principal al teoriei este calculul coeficienților ( $Q_i$ ) de eficiență pentru: absorbție ( $Q_a$ ), împrăștiere ( $Q_s$ ) și extincție ( $Q_e$ ). Coeficienții de eficiență  $Q_i$  pot fi definiți ca și un raport dintre secțiunea de eficiență transversală  $\sigma_i$  și aria secțiunii particulei:

$$Q_i = \frac{\sigma_i}{\pi r^2} \quad (4.24)$$

unde  $r$  este raza particulelor, iar secțiunea de eficiență transversală  $\sigma_i$  este raportul dintre fluxul de energie absorbit, împrăștiat/stins de o particulă și densitatea fluxului energetic incident. Secțiunea transversală de extincție  $\sigma_e$ , reprezintă pierderea de energie a fasciculului incident datorită ambelor fenomene de împrăștiere și de absorbție; prin urmare, secțiunea de extincție poate fi exprimată ca:

$$\sigma_e = \sigma_a + \sigma_s \quad (4.25)$$

unde  $\sigma_a$  și  $\sigma_s$  sunt secțiunile de eficiență transversale de absorbție și de împrăștiere totală. Astfel relația între coeficienții de extincție, absorbție și împrăștiere este următoarea:

$$Q_e = Q_a + Q_s \quad (4.26)$$

Coeficienții de împrăștiere și de extincție pot fi reprezentați ca serii infinite, deși se sugerează că seria nu trebuie să continue peste  $j_{\max} = x + 4x^{1/3} + 2$  pentru o convergență satisfăcătoare:

$$Q_s = \frac{2}{x^2} \sum_{j=1}^{\infty} (2j+1) (|a_j|^2 + |b_j|^2) \quad (4.27)$$

$$Q_e = \frac{2}{x^2} \sum_{j=1}^{\infty} (2j+1) \operatorname{Re}\{a_j + b_j\} \quad (4.28)$$

unde  $x = 2\pi r / \lambda$  este parametrul de difracție, iar  $\operatorname{Re}$  este partea reală a sumei numerelor complexe  $a_j$ ,  $b_j$ :

$$a_j = \frac{\psi_j(x) \left[ \frac{\psi_j'(m_\lambda x)}{\psi_j(m_\lambda x)} \right] - m_\lambda \psi_j'(x)}{\xi_j(x) \left[ \frac{\psi_j'(m_\lambda x)}{\psi_j(m_\lambda x)} \right] - m_\lambda \xi_j'(x)} \quad (4.29)$$

$$b_j = \frac{m_\lambda \psi_j(x) \left[ \frac{\psi_j'(m_\lambda x)}{\psi_j(m_\lambda x)} \right] - \psi_j'(x)}{m_\lambda \xi_j(x) \left[ \frac{\psi_j'(m_\lambda x)}{\psi_j(m_\lambda x)} \right] - \xi_j'(x)} \quad (4.30)$$

$a_j$ ,  $b_j$  sunt coeficienții de expansiune (coeficienții Mie) exprimați în termenii funcțiilor Riccati-Bessel  $\Psi_j(t)$  și  $\xi_j(t)$  care sunt exprimate în funcțiile Bessel după cum se poate vedea în formulele 4.31 și 4.32;  $m_\lambda = n_{1,\lambda} + i n_{2,\lambda}$  este indicele de refracție complex al unui material / particulei din mediul înconjurător,  $n_{1,\lambda}$  este indicele de refracție iar  $n_{2,\lambda}$  este indicele de absorbție.

$$\Psi_j(t) = \sqrt{\frac{\pi t}{2}} J_{j+1/2}(t) \quad (4.31)$$

$$\xi_j(t) = \sqrt{\frac{\pi t}{2}} J_{j+1/2}(t) + (-1)^j J_{-j-1/2}(t), \quad i = \sqrt{-1} \quad (4.32)$$

Coeficientul de eficiență a absorbției ( $Q_a$ ) este determinat după ce s-au luat în considerare  $Q_e$  și  $Q_s$ , folosind formula 4.26. Dependența lui  $Q_e$  de parametrul de difracție ( $x = 2\pi r / \lambda$ ) pentru picăturile de apă este reprezentată în figura 4.2. Pentru particule cu razele asemănătoare cu lungimea de undă a luminii de intrare se manifestă particularitățile spectrale tipice, și anume, structura de interferență (oscilații la scară largă, evidențiate în figura 4.2), pulsația (structură fină neregulată a oscilațiilor) și regiunea de dependență spectrală slabă (la marginea superioară a regiunii Mie).

Regiunea intermediară pentru variația parametrilor de difracție este numită "regiunea de împrăștiere Mie".

Coeficienții de absorbție spectrală de volum implicați în ecuația transferului de radiație sunt determinați prin formulele:

$$\mu_\lambda = \pi N_0 \int_0^\infty Q_a(m\lambda, x) r^2 N(r) dr \quad (4.33)$$

$$\sigma_\lambda = \pi N_0 \int_0^\infty Q_s(m\lambda, x) r^2 N(r) dr \quad (4.34)$$

unde  $N_0$  este numărul total de particule în volum unitar,  $N(r)$  este funcția de distribuție a particulelor (de-a lungul razei). Pentru un sistem monodispers de particule (de rază  $r_0$ ):

$$\mu_\lambda = \pi r_0^2 Q_a(m\lambda, x) \quad (4.35)$$

$$\sigma_\lambda = \pi r_0^2 Q_s(m\lambda, x) \quad (4.36)$$

Dacă în cazul dispersiei Rayleigh, împrăștierea era simetrică spre înainte și înapoi, odata cu creșterea particulei din atmosferă împrăștierea devine tot mai accentuată spre înainte (fig. 4.5). În cazul în care dimensiunea particulei este mai mare (de două-trei ori mai mare) decât lungimea de undă a luminii de intrare, teoria Mie nu mai este fezabil să fie aplicată din cauza complexității de calcul, astfel că în aceste cazuri se poate obține o bună aproximare a dispersiei analizând separat fenomenele de reflexie din particulă, refracție pe suprafața ei și difracție.

Pentru particulele mult mai mari decât lungimea de undă a luminii incidente (de cel puțin 10 ori mai mari), sunt aplicabile legile opticii geometrice. Conform opticii geometrice, amplitudinea luminii împrăștiată este o suprapunere a fracțiilor undelor reflectate, refractate și difractate. Presupunerea este că toate razele incidente care provin din mediul ambiant și traversează o particulă sunt paralele. Fiecare dintre aceste raze emergente sunt caracterizate de doi parametri: unghiul incident ( $\theta$ ) și numărul de "traversari" pe care o rază le face în interiorul particulei ( $p$ ) așa cum se poate observa în figura 4.6.

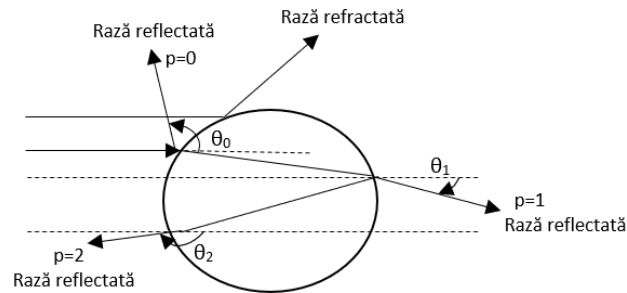


Fig. 4.6 Modelul de dispersie pentru optica geometrică

Seriile Mie din (4.27) și (4.28) sunt serii slab convergente, în special când parametrul de difracție  $x > 20$ . Numeroase investigații au fost realizate pe această problemă care au condus la algoritmi de calcul eficienți folosind formule de recurență directă și inversă.

Pentru valori mici ale parametrului de difracție,  $x \ll 1$ , se pot păstra doar primele sume ale seriei Mie care corespund legii Rayleigh pentru dispersia de particule a căror dimensiune este în esență mai mică decât lungimea de undă a radiației. Pentru valori mari ale lui  $x \geq 20$  coeficienții de eficiență se găsesc din optica geometrică.

Deoarece problema este simetria azimutală, funcția de fază, conform teoriei Mie, depinde de unghiul de latitudine  $\theta$  între direcția de împrăștiere și cea a propagării frontale a undelor neperturbate. Cosinusul mediu al unui unghi de împrăștiere este dat de:

$$\mu = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 p_\lambda(\mu) d\mu \quad (4.37)$$

(unde  $\mu = \cos \theta$ ) caracterizează gradul de dilatație al funcției de fază.

În tabelul de mai jos (Tab. 2) sunt prezentate diferite particule și chiar obiecte de dimensiuni reduse, cum ar fi insectele sau păsările, aflate în atmosferă care pot duce la dispersia luminii. Pentru fiecare categorie este evidențiată dimensiunea și concentrația în atmosferă.

Tab. 2 – Categoriile de dispersanți din atmosferă

Tip	Dimensiune	Valoare de concentrație
Molecule de gaz	$\sim 10^{-4} \mu\text{m}$	$< 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
Aerosoli Aitken	$< 0.1 \mu\text{m}$	$\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$
Aerosoli mari	$0.1 - 1 \mu\text{m}$	$\sim 10^2 \text{ cm}^{-3}$
Aerosoli giganti	$> 1 \mu\text{m}$	$\sim 10^{-1} \text{ cm}^{-3}$
<b>Particule de ceață</b>	<b>5-50 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b><math>10^2 - 10^3 \text{ cm}^{-3}</math></b>
Particule de burniță	$\sim 100 \mu\text{m}$	$10^3 \text{ cm}^{-3}$
Particule ploaie	$0.1 - 3 \text{ mm}$	$10 - 10^3 \text{ cm}^{-3}$
Grindină	$\sim 1 \text{ cm}$	$10^{-2} - 1 \text{ cm}^{-3}$
Insecte	$\sim 1 \text{ cm}$	$< 1 \text{ cm}^{-3}$
Păsări	$\sim 10 \text{ cm}$	$< 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$

Informațiile prezentate mai sus (sintetic) sunt un punct de plecare, în cadrul realizării și utilizării unor echipamente de măsurare (bazate pe unde) în condiții de prezență a diverselor particule, pentru a dezvolta studii aprofundate asupra efectelor și fenomenelor ce apar.

## 4.7 Concluzii parțiale și contribuții

În acest capitol s-a realizat o prezentare matematică a principalelor metode din cele două categorii enunțate în capitolul 3, îmbunătățirea vizibilității și detecția ceții (și estimarea vizibilității). S-a început cu analiza domeniului de vizibilitate, care stă la baza ambelor categorii, urmată de prezentarea a trei metode din categoria îmbunătățirii vizibilității și a eliminării ceții din imagini (legile lui Koschmieder, legea lui Alard și metoda

„Dark channel prior”) și două metode legate de dispersie (dispersia Rayleigh, dispersia Mie plus o scurtă introducere în dispersia geometrică) pentru a înțelege efectele particulelor, în funcție de dimensiunile lor, asupra fasciculului de lumină și a vizibilității.

Scopul prezentării acestor metode este aplicarea și testarea lor în experimentele practice și evidențierea punctelor convergente și a celor divergente ale celor două categorii pentru a se încerca o combinație a lor în cadrul unui sistem.

Legile lui Koschmieder tratează atenuarea luminanței prin atmosferă și propune o relație între contrastul aparent și cel inerent al unui obiect aflat pe fundalul atmosferic. Legea lui Koschmieder este aplicabilă doar pentru condiții de zi, ca și completare, pentru condiții de noapte este prezentată legea lui Allard.

În cadrul metodelor legate de dispersia luminii, se menționează legea lui Rayleigh, aplicabilă pentru particule atmosferice foarte mici (cu dimensiuni mai mici de o zecime din lungimea de undă a unde incidente), legea lui Mie aplicabilă pentru particule cu dimensiunea aproximativ egală cu lungimea de undă a unde incidente și legile opticii geometrice pentru particule mult mai mari. În partea experimentală se prezintă rezultatele obținute, făcându-se referire la partea teoretică enunțată în acest capitol.

## 5 EXPERIMENTE ȘI REZULTATE PENTRU DETECTAREA CEȚII

În capitolul de față se dorește îndeplinirea primelor două obiective stabilite în capitolul introductiv și anume:

*(i) realizarea unui model experimental, în laborator, care să permită studiul și experimentele, în condiții de repetabilitate, a tehnicilor și metodelor (existente și noi propuse de autor) pentru estimarea vizibilității în condiții de ceață;*

*(ii) elaborarea unei soluții practice - prin care conducătorii auto, ori autovehiculele autonome sunt informați de condițiile de vizibilitate care să conducă la creșterea siguranței traficului rutier;*

Pentru primul obiectiv vor fi prezentate două modele experimentale:

- Primul, de dimensiuni 100cm x 30cm x 60cm (Lxlxh), în care să se realizeze experimente ce nu necesită o distanță mare de măsurare dar și pentru realizarea unei perdele înguste de ceață, de doar 30cm;
- cel de-al doilea, de dimensiuni 300cm x 48cm x 47cm (Lxlxh), în care să se poată realiza analogia între rezultatele oferite de sistemul automat și acuitatea vizuală a unor observatori umani și a respecta cerințele oftalmologice.

Pentru cel de-al doilea obiectiv, în vederea propunerii unui sistem fiabil spre a fi utilizat pe drumurile publice, s-au experimentat și testat diferite metode din ambele categorii enunțate în capitolul 3, detecția ceții respectiv îmbunătățirea vizibilității:

- Absorbția fasciculului laser în ceață monitorizată cu o camera video (modelul experimental de 100 cm);
- Dispersia fasciculului laser în ceață monitorizată cu o camera video (modelul experimental de 100 cm);
- Analiza influenței ceții asupra puterii optice a diferitelor surse de lumină (LED, Laser) și corelarea cu acuitatea vizuală (modelul experimental de 100 cm);
- Analiza influenței ceții asupra unui fascicul laser (transmisie directă) și corelarea cu acuitatea vizuală (modelul experimental de 300 cm);
- Analiza influenței ceții asupra unor dispozitive bazate pe dispersia retrogradă – Telemetru și Lidar (modelul experimental de 300 cm);
- Influența dimensiunilor particulelor de ceață asupra surselor de lumină și a vizibilității;
- Eliminarea ceții din imagini aplicând diferiți algoritmi de procesare de imagini.



## **5.1 Absorbția fasciculului laser în ceață monitorizată cu o cameră video**

O primă abordare, prezentată în [101], pentru determinarea distanței de vizibilitate în condiții de ceață, se bazează pe monitorizarea unui fascicul laser cu ajutorul unei camere video. Un fascicul de lumină transmis în atmosferă este absorbit, atenuat și dispersat din cauza particulelor din aer, astfel cu cât ceața devine mai densă, cu atât fenomenele ce au loc asupra fasciculului devin mai intense, acesta risipindu-se în mediu la un moment dat. Acest sistem are rolul de a informa șoferul despre distanța de vizibilitate estimată și de a-l atenționa pentru a adapta viteza la o valoare la care mașina poate fi oprită în condiții de siguranță, dacă un obstacol apare brusc pe carosabil. Atenționarea se poate face fie prin transmiterea informației către panourile de pe autostrăzi aflate în zona respectivă, spre a fi afișată, fie prin transmiterea pe un dispozitiv mobil al șoferului.

Sistemul propus este adecvat spre a fi instalat pe autostrăzi sau drumuri expres și este compus dintr-un dispozitiv laser, o cameră video și un dispozitiv de prelucrare a datelor, toate instalate pe un pilon/stâlp. Laserul proiectează fasciculul spre celălalt pilon, iar dacă camera detectează punctul laser pe acel pilon înseamnă că vizibilitatea este bună. În caz contrar, în imaginea capturată se măsoară lungimea fasciculului laser și astfel se estimează distanța de vizibilitate. Nu este prima abordare în care este folosit un laser și o cameră pentru a măsura distanța de vizibilitate; în [33] și [34] folosind aceste două echipamente, ambele în interiorul vehiculului, sunt detectate obiectele de pe carosabil și distanța față de aceste obiecte; această metodă nu poate însă fi aplicată în condiții de ceață. Ceața dă impresia șoferilor că viteza cu care circulă este mai mică decât în realitate, astfel în încercarea de a rezolva problema depășirii vitezei în condiții meteo nefavorabile și în acest fel de a spori siguranța pe autostrăzi, este propusă o caracteristică suplimentară sistemului care oferă șoferilor o atenționare pentru adaptarea vitezei la condițiile de drum. Marele avantaj al acestui sistem staționar este faptul că rezultatele pot fi transmise tuturor participanților la trafic, chiar dacă mașinile acestora nu sunt dotate cu dispozitive ultramoderne care să detecteze condițiile meteo nefavorabile, iar acest lucru este extrem de important deoarece în momentul de față o mare parte din vehiculele ce circulă pe drumurile publice nu dispun de astfel de echipamente.

În subcapitolele următoare vor fi prezentate principiile de funcționare ale sistemului, arhitectura acestuia dar și pașii detaliați pentru determinarea vizibilității în condiții de ceață (5.1.1); în subcapitolul 5.1.2 este descris modelul experimental utilizat în laborator pentru testarea metodei; aici sunt prezentate de asemenea echipamente utilizate în cadrul experimentelor. Ultima parte a subcapitolului este dedicată prezentării experimentelor, rezultatelor și concluziilor (5.1.3).

### **5.1.1 Descriere sistem**

Scopul acestui sistem (publicat în [101]) este de a oferi șoferilor notificări cu privire la distanța de vizibilitate și, de asemenea, de a oferi o recomandare pentru adaptarea vitezei la condițiile meteorologice. Este o abordare staționară, adecvată pentru

a fi utilizată pe autostrăzi sau drumuri express, iar prin simplitatea ei face ca de informațiile obținute în urma procesării imaginilor să poată beneficia toate categoriilor de vehicule, nu doar cele moderne, care sunt echipate cu cele mai noi dispozitive sau sisteme din industria automotive.

În figura 5.1 se poate observa structura sistemului care este compus dintr-o cameră video, un laser și un dispozitiv capabil să proceseze imagini în timp real. Aceste dispozitive sunt fixate pe un stâlp aflat în apropierea autostrăzii, laserul proiectând un fascicul spre un alt stâlp situat la o distanță între 300m și 500m, considerate domenii de vizibilitate suficiente pentru circulația rutieră. Laserul este fixat la o înălțime în jurul punctului de vizualizare al șoferului, iar camera este poziționată la o înălțime superioară, astfel încât să poată capta întreaga suprafață dintre cei doi stâlpi. Dacă fasciculul laser ajunge la cel de-al doilea stâlp, înseamnă că nu există ceață iar vizibilitatea nu este afectată.

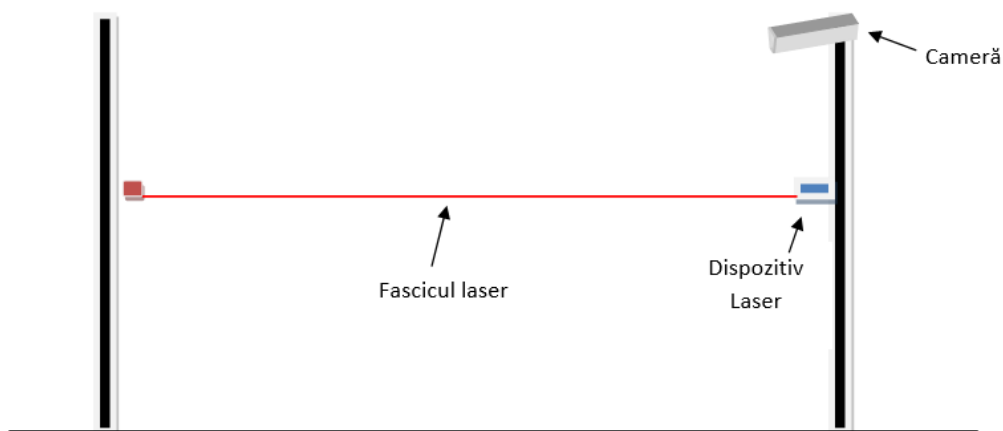


Fig. 5.1 Sistem de detecție al vizibilității folosind un laser și o cameră

Pentru a face acest scenariu mai fiabil, pe cel de-al doilea stâlp trebuie montat un obiect care dispersează fasciculul laser și face mai ușor observarea lui de către aparatul foto/video. În lipsa unui astfel de obiect, în zilele însorite poate fi o problemă în observarea punctului laser de pe stâlp. În celălalt caz, când laserul nu ajunge la cel de-al doilea stâlp, distanța de vizibilitate va fi estimată pe baza lungimii fasciculului laser din imagine și afișată pe un panou sau transmisă ca o notificare pe telefonul mobil al șoferilor. Figura următoare (fig. 5.2) rezumă pașii parcurși pentru determinarea distanței de vizibilitate în condiții de ceață.

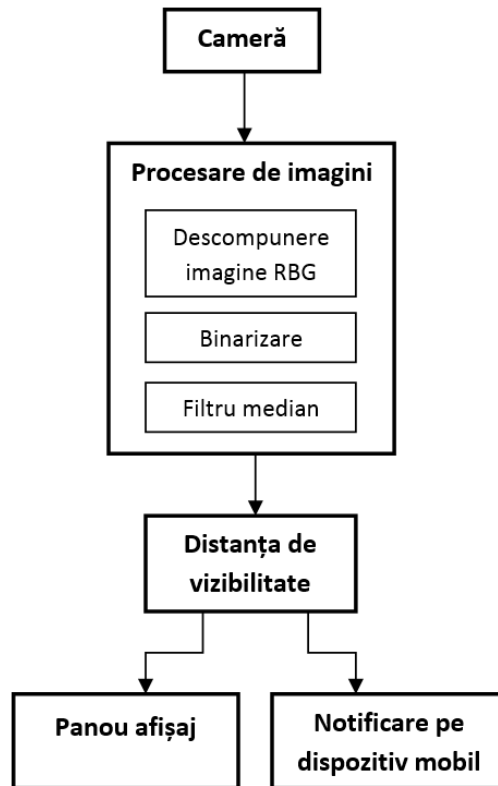


Fig. 5.2 Arhitectura sistemului

Prelucrarea imaginilor captate cu camera foto/video se face în trei pași: primul pas în acest proces este descompunerea imaginii color în trei imagini monocolor corespunzătoare culorilor principale: roșu (R), verde (G) și albastru (B). Deoarece în experimentul de față se folosește un fascicul laser roșu, imaginea corespunzătoare canalului roșu este de interes. Celelalte două imagini sunt eliminate, reducând astfel dimensiunea imaginii dar și timpul necesar pentru prelucrare (fig. 5.3). O imagine color este o matrice tridimensională, dimensiunea ei fiind  $N \times M \times 3$ , unde  $N$  reprezintă numărul de pixeli pe axa  $Oy$ ,  $M$  reprezintă numărul de pixeli pe axa  $Ox$  iar pe axa  $Oz$  există trei elemente corespunzătoare celor trei canale.

Cel de-al doilea pas în partea de procesare a imaginii este binarizarea acesteia. Imaginea corespunzătoare canalului roșu, extrasă din imaginea originală este o imagine în tonuri de gri. Pentru a obține o imagine neagră cu o linie albă, care reprezintă urma lăsată de fasciculul laser, imaginea în tonuri de gri trebuie binarizată. Fiecare pixel din imagine poate lua valori în intervalul  $[0,255]$ ; binarizarea înseamnă stabilirea unui prag, spre exemplu valoarea 127 aleasă de autor în acest caz, aceasta fiind chiar centrul intervalului, iar toate valorile care se află sub acest prag devin 0, în timp ce valorile peste

prag devin 1. Imaginea obținută după această etapă este o imagine care conține numai două culori alb și negru (fig. 5.4a).

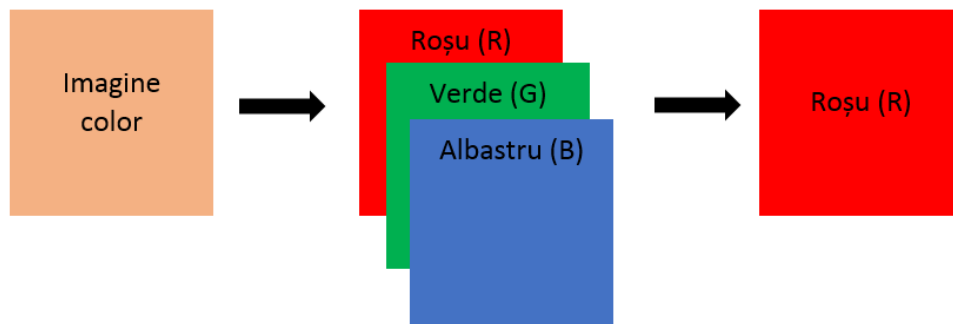


Fig. 5.3 Descompunerea imaginii color

Scopul final al acestei procesări este ca în imaginea alb-negru să apară doar urma fasciculului laser iar pentru aceasta este necesar să se aplice o filtrare pentru eliminarea zgomotului din imaginea binarizată, aici fiind folosite câteva aspecte teoretice din [28]. Astfel asupra imaginii binarizate din figura 5.4a se aplică o filtrare mediană. Ideea filtrului median este de a parcurge întreaga imagine cu un element structural de o anumită valoare, 3x3 în cazul de față și de a alege valoarea mediană din această fereastră. Valoarea mediană va înlocui valoarea existentă de la pixelul în care a fost aplicat filtrul, zgomotul fiind astfel eliminat după cum se poate observa în figura 5.4b.

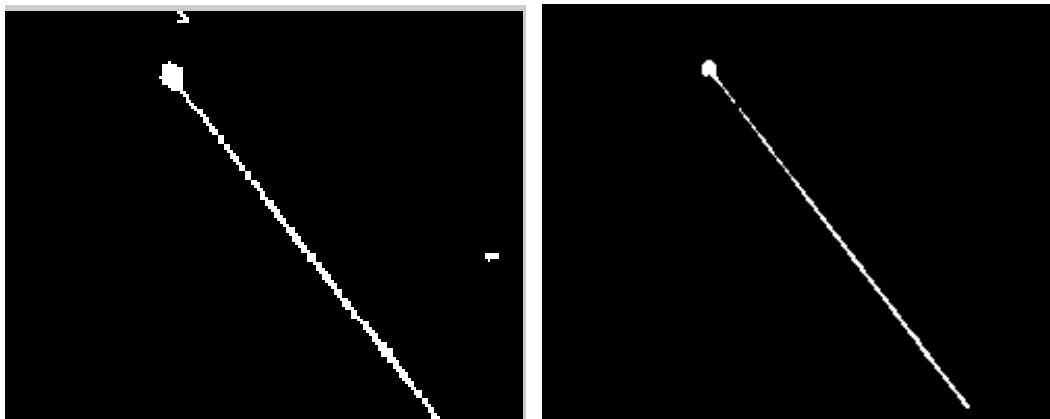


Fig. 5.4 a). Imagine binarizată cu zgomot b). Imagine după filtrare

Următorul pas după eliminarea zgomotului este estimarea distanței de vizibilitate. Cunoscând numărul de pixeli pe axa Oy, dar și distanța dintre cei doi stâlpi se poate calcula distanța în metrii dintre doi pixeli adiacenți. Imaginea este parcursă rând cu rând, începând cu pixelul din stânga sus până când este descoperit primul pixel alb. Acesta reprezintă punctul maxim de vizibilitate, care este apoi transformat în metri pe baza distanței dintre doi pixeli adiacenți și este afișat pe un panou sau trimis ca notificare către șoferi pe un dispozitiv mobil. Calculând distanța de vizibilitate, sistemul poate oferi și o recomandare de viteză, astfel încât, în cazul în care șoferul observă un obstacol, să poată opri mașina în condiții de siguranță. A. Varhelyi prezintă în lucrarea sa, [107], o formulă prin care se poate calcula această viteză:

$$v = \left( -t_r + \sqrt{t_r^2 + \frac{2s}{g(f+G)}} \right) * (g(f+G)) \quad (5.1)$$

unde:

- v este viteza mașinii (m/s)
- s este distanța în care mașina poate fi oprită (m)
- $t_r$  este timpul de reacție al șoferului (sec)
- g este accelerația gravitațională ( $m/s^2$ )
- f este coeficientul de frecare al frânării
- G este gradient (panta drumului)

Considerând coeficientul de frecare al frânării  $f = 0,5$  (caracteristic pentru o suprafață uscată), gradientul  $G = 0$  (drum orizontal), timpul de reacție al șoferului fiind de 2 secunde și accelerația gravitațională  $9,81 m/s^2$ , mai este necesară doar estimarea distanței de vizibilitate pentru a oferi șoferului o recomandare privind viteza. După cum se menționează în [27], dacă un obiect este în zona de vizibilitate estimată, nu înseamnă că șoferii îl pot vedea, pot apărea alte probleme cum ar fi reflecții, contrast scăzut sau probleme ale sistemului vizual uman.

### 5.1.2 Modelul experimental utilizat în laborator

Modelul experimental (fig. 5.5) realizat în laborator, pentru a simula sistemul, este compus dintr-o cutie transparentă, o placă de dezvoltare raspberry pi conectată cu o cameră video și un afișaj plus un laser. În cutie se realizează un mediu cețos pentru a putea verifica funcționarea și fiabilitatea sistemului.

În cadrul acestei cercetări s-a utilizat, ca element central pentru procesarea datelor și determinarea distanței de vizibilitate, o placă de dezvoltare Raspberry pi (fig. 5.6) echipată cu o cameră foto și un display pentru afișarea rezultatelor. În afară de acestea, s-a folosit și un dispozitiv laser, cu lungimea de undă în intervalul 635-660nm (fascicul roșu). Raspberry pi este un model B+, lansat în iulie 2014, ce dispune de un CPU unic de 700 MHz și memorie RAM de 512 MB. Aceasta oferă posibilitatea de a procesa imaginile și de a afișa rezultatele în timp real. Ca sisteme de operare, raspberry oferă o diversitate de opțiuni, începând cu raspbian, android și chiar windows sau linux.

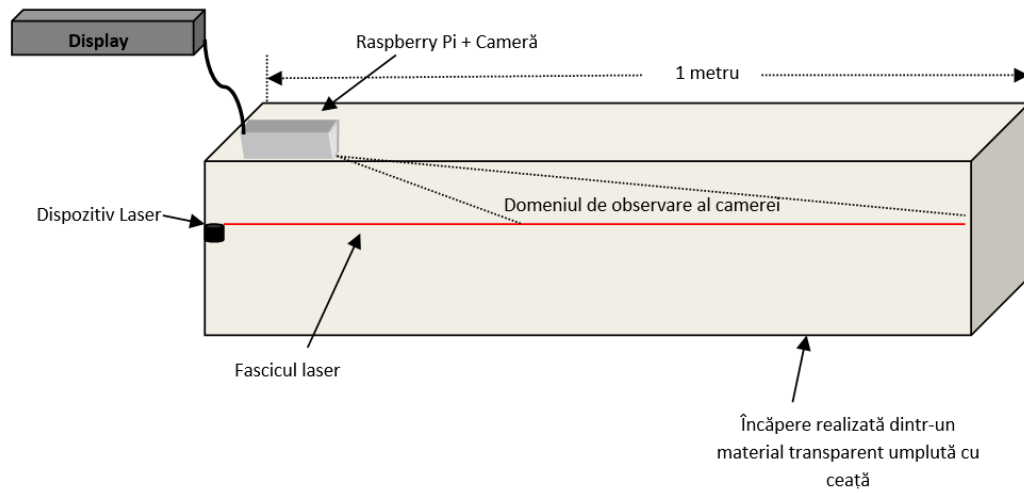


Fig. 5.5 Modelul experimental

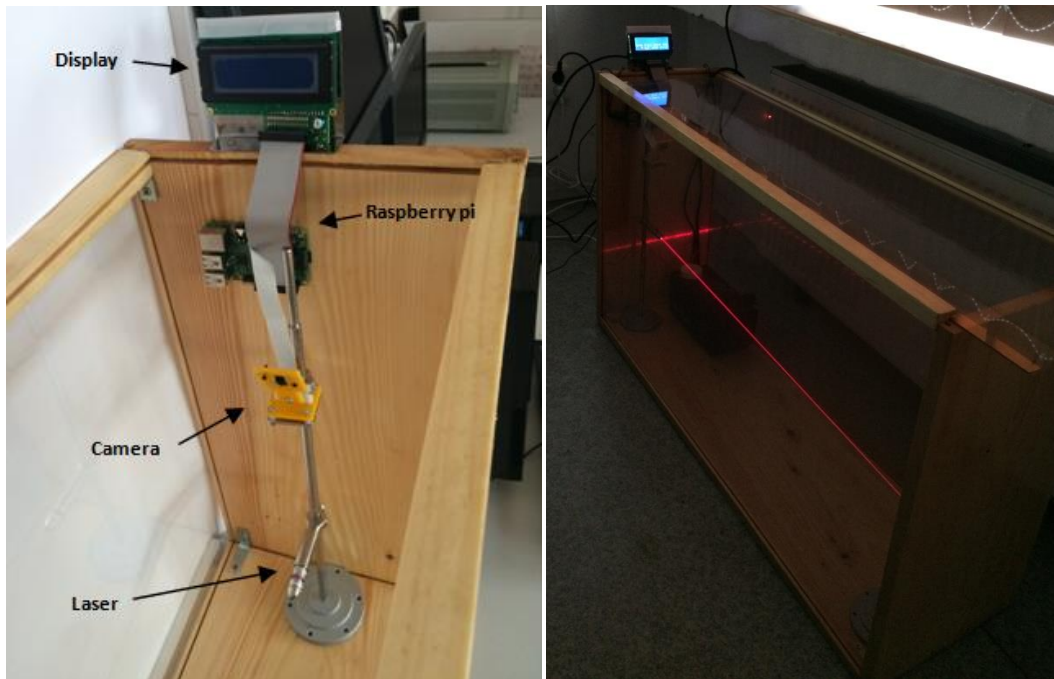


Fig. 5.6 Configurația utilizată în laborator a). Structura b). În modul funcțional

Pentru acest experiment s-a folosit raspbian, care este o versiune Debian optimizată pentru hardware-ul raspberry pi, iar ca limbje de programare python și octave. Camera este conectată la placă printr-un port de interfață CSI-2 iar afișajul prin portul de interfață cu afișaj LCD DSI. Camera folosită pentru experiment are un senzor de 5 megapixeli care poate realiza fotografiile în formate de 1080p și 720p cu un număr de 2592x1944 pixeli. Pentru a afișa rezultatele, s-a folosit un LCD 16x2, conectat la placă printr-un cablu cobbler. În figura 5.6a este prezentată configurația utilizată în laborator pentru a simula experimentul descris mai sus.

### 5.1.3 Experimente, rezultate și concluzii

Sistemul experimental propus (prezentat funcționând în fig. 5.6b) a fost realizat și utilizat în laborator pentru a efectua teste cu privire la distanța de vizibilitate și pentru a calcula o viteză recomandată a fi respectată, astfel încât șoferul să poată opri mașina în condiții de siguranță. Sistemul, realizat la o scară corespunzătoare în realitate, instalat pe autostrăzi sau pe drumurile expres, constituie o abordare staționară a evaluării vizibilității, iar măsurătorile, (considerate output-ul pentru atenționare) vor fi afișate pe un panou.

Un deziderat important a fost ca aplicația să funcționeze în timp real și astfel s-a încercat creșterea eficienței fluxului de prelucrare prin utilizarea diferitelor scripturi pentru manipularea datelor de intrare-ieșire, având astfel mai multe procese derulate în paralel. În Python s-a utilizat un script care captează o imagine la fiecare 5 secunde și salvează această fotografie într-o anumită locație:

```
import io
import picamera
from time import sleep

camera = picamera.PiCamera()
while True:
    camera.capture('/home/pi/Master_VD/img.jpg')
    sleep(5)
```

Imaginea este procesată folosind Octave care este varianta Matlab pentru linux / unix. Pentru această operație este folosit codul prezentat în Anexa 1 iar rezultatul este scris într-un fișier extern:

```
A = [s; v*3.6];
fileID = fopen("dispfile.txt",'w');
fprintf(fileID,'Visibility distance %6.0f meters\nRecommended speed %6.1f
km/h\n',A);
fclose(fileID);
```

În fișierul "dispfile.txt" se scriu cei doi parametri de interes, distanța de vizibilitate și viteza recomandată. Acești parametri trebuie să fie afișați pe ecranul LCD 16x2 iar pentru această operație s-a folosit din nou Python:

```
#!/usr/bin/python

from Adafruit_CharLCD import Adafruit_CharLCD
from subprocess import *
from time import sleep, strftime
from datetime import datetime

lcd = Adafruit_CharLCD()
while True:
    file = open('dispfile.txt', 'r')
    data = file.read()
    lcd.clear()
    lcd.message(data)
    sleep(10)
    lcd.clear()
    file.close()
```

Întregul flux de lucru este prezentat în diagrama din figura următoare (fig. 5.7) pentru a avea o imagine de ansamblu asupra funcționalității întregului sistemului.

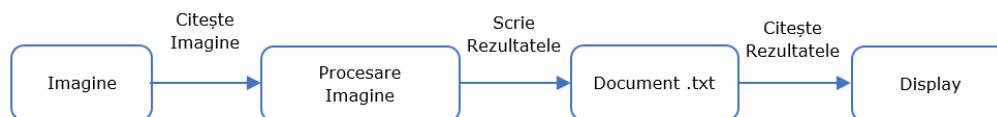


Fig. 5.7 Fluxul de lucru al sistemului

Rezultatele obținute prin procesarea imaginii sunt plasate într-un fișier text și apoi transmise/afișate pe panoul de pe autostradă, sau pe display-urile autoturismelor, pentru atenționarea conducătorilor auto.

Folosind acest model experimental s-a putut testa și analiza modul în care sistemul se comportă în diferite condiții (cum ar fi ziua sau noaptea) și în diferite situații, pornind de la cazul fără ceață până la cel mai complex caz cu ceață foarte densă, cauzând experimente care vor fi prezentate în următoarele subcapitole.

### 5.1.3.1 Rezultate în condiții de noapte

#### A. Fără ceață

Primul caz descris se referă la condițiile de noapte fără ceață. În figura 5.8, imaginea din stânga (fig. 5.8 a) reprezintă imaginea originală, în timp ce imaginea din partea dreaptă (fig. 5.8 b) este cea prelucrată. Așa cum se poate observa în imaginea



prelucrată, fasciculul laser ajunge la cel de-al doilea stâlp, ceea ce înseamnă că vizibilitatea este bună, mai mare de 300 de metri (distanța propusă dintre cei doi stâlpi) și în acest caz sistemul recomandă o viteză de 130 km/h, valoare maximă legală pe autostrazi. În cazul în care sistemul identifică un pixel alb în primele 5% rânduri din imagine, nu este nevoie să se calculeze distanța, sistemul estimând faptul că vizibilitatea este bună, iar condițiile meteorologice nu afectează vizibilitatea șoferului.

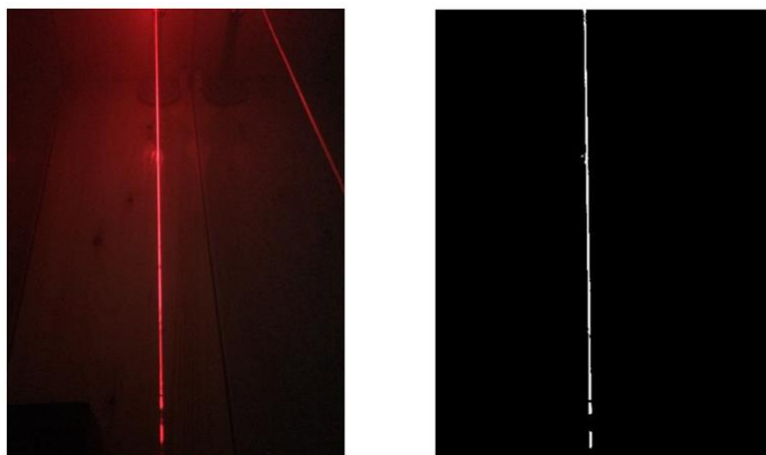


Fig. 5.8 Condiții de noapte fără ceață: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

### **B. Ceață moderată**

Cel de-al doilea caz pentru condiții nocturne este cel cu ceață moderată (0.5g lichid utilizat pentru generarea ceții).

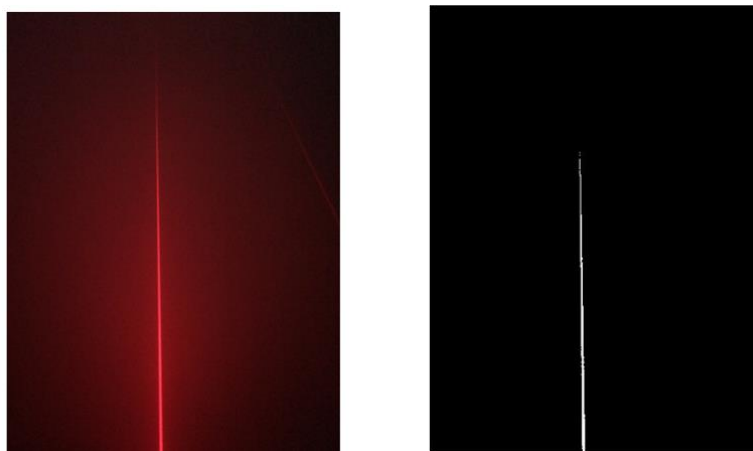


Fig. 5.9 Condiții de noapte cu ceață moderată: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

În acest caz, în imaginea prelucrată (fig. 5.9 b) poate fi observat faptul că fasciculul laser nu mai ajunge la cel de-al doilea stâlp. Sistemul trebuie să calculeze distanța de vizibilitate pe baza lungimii fasciculului laser. Linia dreaptă albă din imaginea procesată are o lungime de aproximativ două treimi din întreaga imagine, iar rezultatul oferit de sistem este de 218 de metri, viteza recomandată fiind de 103 km/h în acest caz.

### C. Ceață densă

Cel de-al treilea caz prezentat pentru condițiile de noapte este cu ceață densă (1g lichid utilizat pentru generarea ceții), prezentat în figura 5.10 a. După procesarea imaginii, sistemul calculează o distanță de vizibilitate de 64 de metri și recomandă o viteză de 48 km/h. În imaginea procesată este indicat unde a fost descoperit primul pixel alb (fig. 5.10 b).

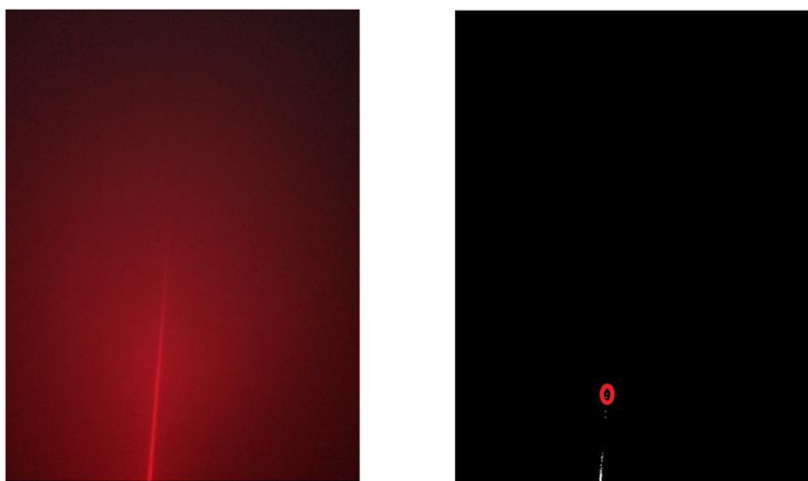


Fig. 5.10 Condiții de noapte cu ceață densă a). Imagine originală b). Imagine procesată

## 5.1.3.2 Rezultate în condiții de zi

### A. Fără ceață

Aceiași pași sunt urmați și în secțiunea de față, dar de data aceasta pentru condiții diurne. Primul caz prezentat pentru această categorie este cazul fără ceață. Din nou, în imaginea de mai jos (fig. 5.11 a), se poate observa faptul că fasciculul laser ajunge la cel de-al doilea stâlp, ceea ce înseamnă că vizibilitatea este mai mare de 300 de metri, iar viteza recomandată este de 130 km/h. În imaginea prelucrată este indicat primul pixel alb care a fost descoperit în primele 5% rânduri din imagine.

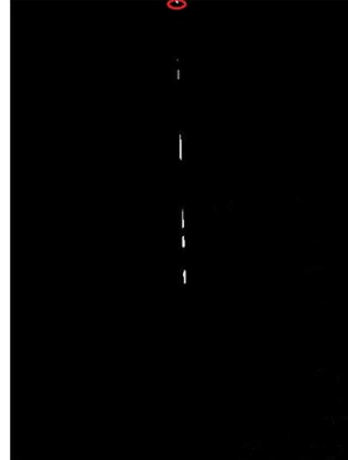


Fig. 5.11 Condiții de zi fără ceață: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

### **B. Ceață moderată**

Cel de-al doilea caz pentru condițiile diurne este cazul cu ceață moderată, unde s-au utilizat 0.5g lichid pentru generarea ceții (fig. 5.12). Aici sistemul estimează o distanță de vizibilitate de 249 de metri și oferă o recomandare pentru a adapta viteza la o valoare sub 112 km/h. Comparând cu condițiile nocturne, în aceleași condiții de ceață, pentru cazul diurn, vizibilitatea este mai bună.

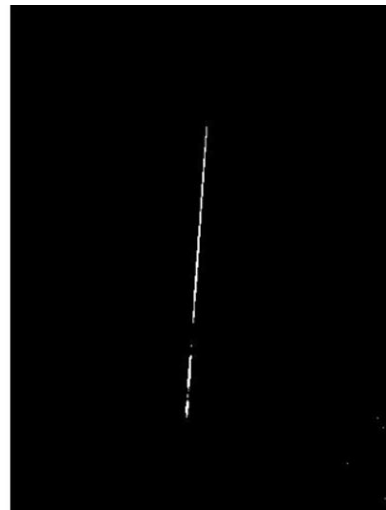
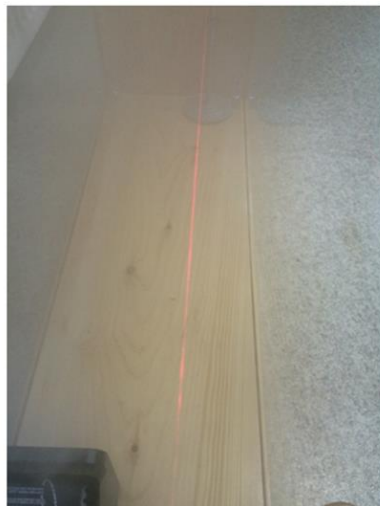


Fig. 5.12 Condiții de zi cu ceață moderată: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

### C. Ceață densă

Ultimul caz pentru condițiile diurne este cel cu ceață densă, unde s-a utilizat 1g lichid pentru generarea ceții.



Fig. 5.13 Condiții de zi cu ceață densă: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

Din nou, vizibilitatea este redusă, în imaginea prelucrată (fig. 5.13 b) putându-se observa că urma fasciculului laser este de aproximativ o treime din întreaga imagine. Sistemului estimează o distanță de vizibilitate de 109 metri și recomandă o viteză de 67 km/h pentru această situație. Vizibilitatea pentru condițiile de zi și ceață densă este mai bună decât pentru condițiile de noapte și ceață densă (având aceeași densitate a ceții în modelul experimental), observație menționată și în cazul precedent, ceea ce dovedește că prezența ceții în condiții de noapte este mult mai periculoasă pentru șoferi; nici lumina farurilor nu este de mare ajutor în astfel de situații, ba dimpotrivă, lumina farurilor reflectată din ceață are un efect dăunător asupra vizibilității șoferilor.

Sistemul experimental prezentat arată capabilitatea metodei de a detecta distanța de vizibilitate în condiții de ceață, iar pe baza acestei informații se recomandă șoferilor o viteză propice pentru condițiile meteo specifice, pe panourile indicatoare aflate pe autostradă/drum, sau direct pe display ori un dispozitiv mobil al autovehiculelor, astfel încât conducătorii auto să fie capabili să oprească mașina în condiții de siguranță, în caz de nevoie.

Marele avantaj al unui astfel de sistem ar fi faptul că informația legată de vizibilitate și recomandarea vitezei pot fi transmise tuturor participanților la trafic, nu ca în cazul sistemelor instalate pe mașinile personale, în care doar conducătorul respectiv beneficiază de aceste informații. Un alt avantaj ar fi costul zero pentru șoferi, pe de altă parte costurile ar trebui suportate de administrația publică întrucât pe infrastructura actuală nu este posibilă implementarea unui astfel de sistem. Costurile de instalare a sistemului nu ar fi foarte ridicate având în vedere simplitatea acestuia, fiind format dintr-un dispozitiv laser, o cameră și un dispozitiv de prelucrare al acestor date și transmitere

către o rețea de telefonie. O idee pentru eficientizarea costurilor, ar fi folosirea acestor dispozitive doar în zonele predispuse la ceață. Fiind un sistem staționar, viteza de prelucrare a datelor nu trebuie să fie foarte ridicată, sistemului putând transmite notificări la nivel de secunde sau chiar minute, deoarece condițiile meteorologice nu se schimbă atât de repede.

Faptul că sistemul este instalat în afara carosabilului poate elimina o serie din neajunsurile metodelor mobile, instalate direct pe vehicul, cum ar fi măsurători eronate realizate de sistem din cauza altor participanți la trafic, a drumurilor cu curbe, dealuri sau poduri. Un alt avantaj important al sistemului propus este acela că poate estima distanța de vizibilitate și în alte condiții meteo, cum ar fi ploaia sau zăpada.

Cel mai mare dezavantaj al acestui sistem, staționar fiind, este acela că feedback-ul privind distanța de vizibilitate și viteza recomandată sunt valabile doar pentru zona în care sistemul este instalat, problemă ce poate fi rezolvată prin instalarea sistemului pe mașină. Un alt lucru, ce nu a fost demonstrat în acest experiment, este legat de validitatea pentru om a rezultatelor calculate de sistem, chestiune ce va fi tratată în capitolele următoare, bazată pe testarea acuității vizuale.

Astfel, prin realizarea acestui model experimental și prin aceste experimente au fost atinse atât primul cât și cel de-al doilea obiectiv stabilite în teză.

## **5.2 Dispersia fasciculului laser monitorizată cu o cameră video**

În subcapitolul anterior a fost evaluată densitatea ceții pe baza absorbției și atenuării fasciculului laser, iar în cazul de față se va trata cazul dispersiei fasciculului laser într-un mediu cețos. Se vor folosi aceleași imagini cu ceață din experimentul precedent. În cazul absorbției, pentru a reține doar urma fasciculului laser din canalul roșu al imaginii, a fost setat un nivel de binarizare ridicat,  $\text{im2bw}(\text{redChannel}, 0.8)$ , ceea ce înseamnă că toți pixelii aflați peste pragul stabilit vor lua valoarea 1 (alb), iar cei sub prag valoarea 0 (negru).

În cazul de față se va putea utiliza același cod Matlab din capitolul 5.1, singura modificarea, ce permite evaluarea densității prin analiza dispersiei luminii, fiind pe partea de binarizare. În acest caz pragul fiind setat mult mai jos, 0.3 în exemplele de mai jos (fig. 5.14 – fig. 5.16). După cum se poate observa, cu cât densitatea ceții crește, va crește și aureola fasciculului laser. Dacă în abordarea anterioară, cu un prag de binarizare ridicat, erau eliminate părțile nedorite din imagine - cum ar fi reflexia fasciculului laser - în cazul de față având un prag scăzut acestea rămân în imagine, lucru evident mai ales în cazul nivelului de ceață scăzut (fig. 5.14). În celelalte două cazuri, ceață moderată și densă, reflexia nu mai are loc având în vedere că fasciculul nu mai ajunge la cel de-al doilea stâlp.

Vom trata în acest subcapitol doar cazul nocturn, cu cele trei imagini inițiale - fără ceață, ceață moderată și ceață densă. Astfel, în primul caz, se poate observa în figura 5.14 b faptul că în prima jumătate a imaginii fasciculul laser rămâne nealterat, în cea de-a doua parte a imaginii se crează o aureolă care se datorează însă reflexiei luminii, din cauza distanței de măsurare reduse (1 metru), în condiții de laborator. În cel de-al doilea caz, cel cu ceață moderată, lungimea fasciculului laser se reduce, în schimb apare o creștere

a aureolei, datorată dispersiei luminii din particulele de ceață. Cu cât densitatea ceții crește, va crește și dimensiunea aureolei, lucru ce poate fi observat în figura 5.16 b, cazul cu ceață densă.



Fig. 5.14 Condiții de noapte fără ceață: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

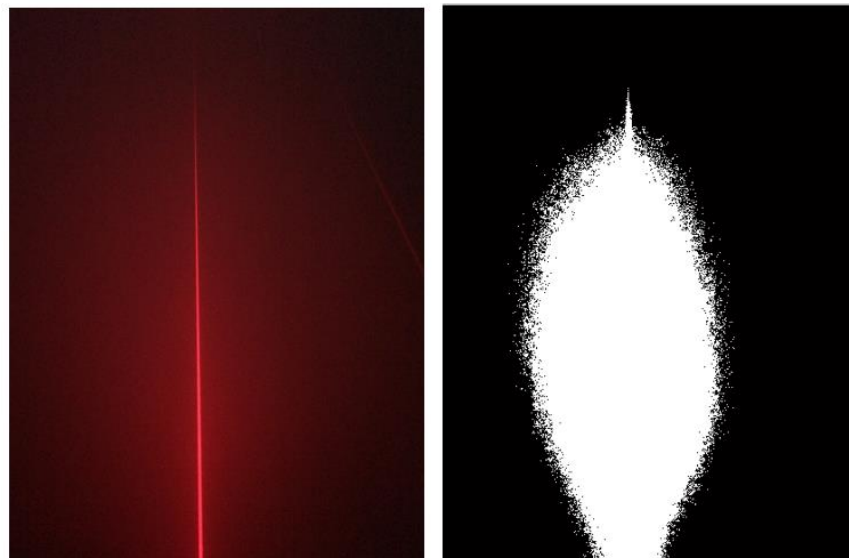


Fig. 5.15 Condiții de noapte cu ceață moderată: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

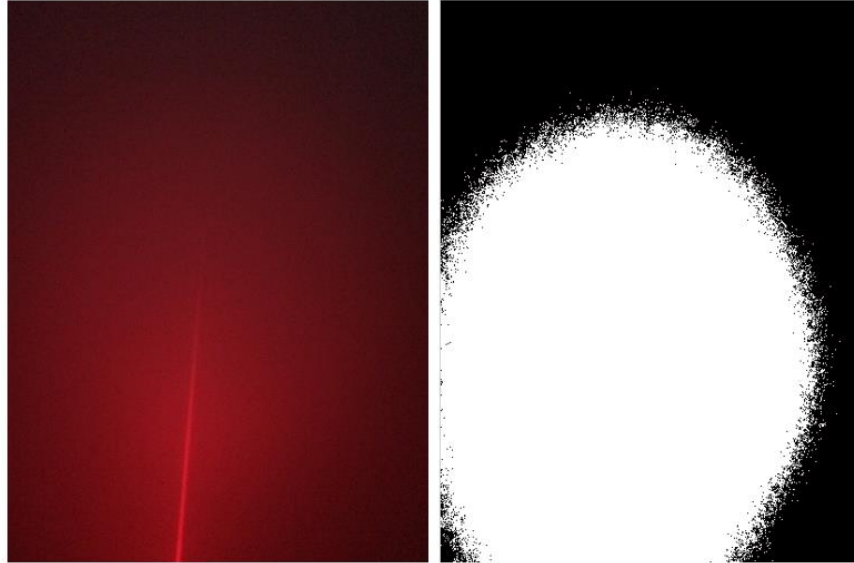


Fig. 5.16 Condiții de noapte cu ceață densă: a). Imagine originală; b). Imagine procesată

O astfel de abordare, de estimare a densității ceții bazată pe dispersia luminii și evaluarea aureolei, poate fi folosită atât în cazul unui sistem staționar, cum este cel prezentat în subcapitolul 5.1, cât și în cazul unui sistem mobil, și anume evaluarea dispersiei luminii farurilor aurovehiculelor în condiții de ceață. În capitolul introductiv s-a menționat faptul că noile tehnologii din domeniul farurilor sunt bazate pe LED și laser, astfel că metoda propusă în acest capitol pare fiabilă. O analiză mai detaliată a influenței ceții asupra acestor surse de lumină este continuată și prezentată în subcapitolul 5.3.

### **5.3 Influența ceții asupra puterii optice și asupra acuității vizuale**

Cercetările din domeniu, potrivit Administrației Naționale pentru Siguranța Traficului pe Autostrazi din Statele Unite ale Americii, întăresc ideea că cele mai multe accidente nu sunt cauzate de defecte auto ci de comportamentul și acțiunile conducătorului auto [108]. Conducusul cu viteză neregulamentară sau neadecvată pentru condițiile meteorologice poate provoca o catastrofă. Pentru a îmbunătăți vizibilitatea conducătorului auto, companiile automotivă au dezvoltat faruri bazate pe tehnologiile LED sau laser care cresc directivitatea, puterea și eficiența fasciculului. În acest subcapitol sunt prezentate câteva principii (publicate în [31]) care pot conduce la dezvoltarea unui sistem capabil să estimeze distanța de vizibilitate în condiții de ceață, bazat pe proprietățile de dispersie, absorbție sau reflexie ale luminii în condiții de ceață. La fel ca sistemul prezentat în subcapitolul precedent, și cel de față trebuie să notifice conducătorii

auto și să recomande o viteză care să asigure siguranța în trafic în condiții meteo nefavorabile.

Întrebarea este dacă aceste notificări oferite de un sistem automat sunt valabile și pentru o ființă umană. Cât de departe poate fi văzut un obiect depinde de caracteristicile optice. Acuitatea vizuală este măsurată cu tablele cu optotipuri care testează factorii optici și neurali. Această metodă este adesea folosit de medici pentru a verifica dacă o persoană este capabilă să conducă o mașină, înainte de a obține permisul de conducere. Ceața poate provoca același efect ca o problemă de ochi (miopie), având ca și rezultat o vedere încețoșată pentru obiectele mai îndepărtate. Astfel, pentru a demonstra că estimarea vizibilității este validă pentru o ființă umană am testat sistemul vizual uman în diferite condiții de ceață folosind o tabelă cu optotipuri.

Aceste experimente au ca și principal scop realizarea unei legături între sistemele de detectare automată a vizibilității și sistemul vizual uman. Prin aceasta autorul tezei dorește să dovedească ca măsurătorile oferite de un sistem dezvoltat pe principiile enunțate în această lucrare sunt valide din punctul de vedere al ființei umane.

În secțiunile următoare se evaluează două surse de lumină (LED și laser) în medii de ceață, se măsoară densitatea ceții pe baza dispersiei luminii, astfel putând fi identificată influența ceții asupra surselor de lumină. Mai departe este prezentată legătura între diferite nivele de ceață și bolile oculare. Luând în considerare aceste rezultate, sunt propuse o serie de principii ce vor sta la baza dezvoltării sistemului final de estimarea a vizibilității în condiții meteorologice nefavorabile, prezentat la finalul cercetării.

### **5.3.1 Modelul experimental de 1 metru (Categorii de ceață – putere optică vs nivel de ceață)**

Industria automotive a evoluat mult în domeniul dispozitivelor de iluminat, a farurilor [109]. Chiar dacă farurile cu halogen sunt încă cele mai populare astăzi, există și alte tehnologii care tind să le ia locul. Farurile Xenon au venit cu avantajele unei mai mari durabilități, mai puțină energie pierdută și o mai bună vizibilitate pentru șoferi. Din păcate, această tehnologie are și un mare dezavantaj: strălucirea orbitoare generată de faruri poate fi foarte deranjantă pentru ceilalți participanți la trafic, în special pentru cei ce circulă din sens opus. Statisticile arată că aproape jumătate din accidente au loc în timpul nopții, iar fenomenul de strălucire a farurilor e principalul factor.

Tehnologia farurilor LED a adus unele caracteristici suplimentare care au rezolvat o parte dintre neajunsurile tehnologiilor anterioare. Una dintre caracteristici se referă la lumina oferită de aceste dispozitive care este mai caldă decât cea oferită de faruri Xenon, rezolvând astfel problema de orbire. Un alt plus al acestei tehnologii este consumul foarte redus de energie, extrem de important în special pentru vehiculele hibride.

Cea mai recentă tehnologie este reprezentată de farurile cu laser care pot lumina de două ori mai mult decât farurile LED folosind doar jumătate din energie. Alte avantaje majore sunt tehnologia de auto-atenuare a luminii (auto-dimming) prin care se evită fenomenele de orbire cauzate de faruri, plus temperatura de culoare a luminii care este aproape de lumina naturală.

În această secțiune este analizată influența ceții asupra luminii dispozitivelor LED și laser. Această evaluare este realizată deoarece aceste două surse de lumină sunt viitorul în domeniul farurilor și nu numai [109], astfel dacă înțelegem comportamentul lor



În ceață, aceste principii pot fi utilizate pentru dezvoltarea de sisteme staționare și mobile capabile să detecteze distanțele de vizibilitate în ceață. Distanța sau domeniul de vizibilitate pentru șoferi, menționată și în capitolele anterioare (2.1.2, 4.1) impune/limitează distanța de oprire în condiții de siguranță a vehiculului. Un exemplu de sistem staționar este prezentat în figura de mai jos (fig. 5.17) unde este analizat/evaluat fasciculul unei surse de lumină, apoi pe baza acestor informații este estimată o distanță de vizibilitate și se calculează o viteză recomandată pentru respectivele condiții meteo.

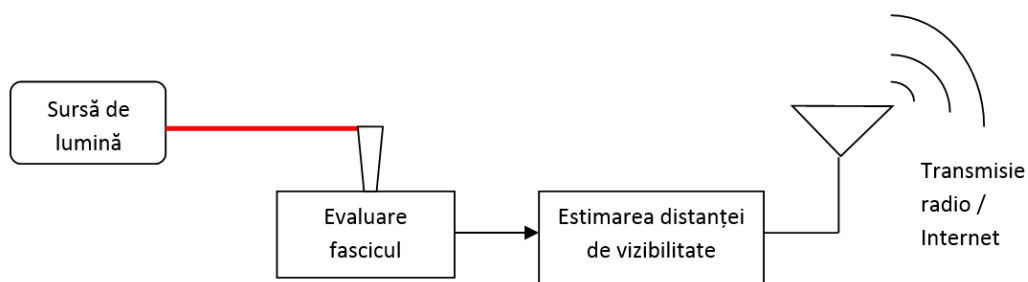


Fig. 5.17 Sistem staționar de detectare a vizibilității în ceață

Viteza recomandată poate fi determinată utilizând câteva informații suplimentare, cum ar fi reacția șoferului, coeficientul de frecare la frânare sau de panta drumului, pe baza formulei (5.1) prezentată de A. Varhelyi în lucrarea [107].

Acești doi parametri, domeniul de vizibilitate și viteza recomandată, sunt transmiși șoferilor pentru a crește siguranța în trafic. Astfel de sisteme sunt, în general, instalate în zonele predispuse la formarea de ceață. Pentru un model mobil, sistemul trebuie instalat în/pe mașină, dar spre deosebire de celălalt tip de sistem (unde toți participanții la trafic din zona respectivă pot beneficia de informație), aici doar vehiculele echipate cu astfel de echipamente pot obține notificarea. Pe de altă parte șoferul are un feedback cu privire la domeniul de vizibilitate pe întreaga călătorie, nu doar în "punctele fierbinți", unde sistemele sunt instalate. În paragrafele următoare sunt evaluate sursele de lumină:

- tip LED – prin evaluarea formei fasciculului în condiții de ceață;
- tip LASER - prin evaluarea puterii unui fascicul laser după trecerea prin ceață comparativ cu transmisia în condiții fără ceață.

### 5.3.2 Evaluarea performanțelor dispozitivelor LED

Pentru a putea face o comparație între intensitatea luminii și vizibilitatea în diferite condiții de ceață este utilizată o tablă divizată (Fig. 5.18) cu 2 cm/div. De interes, dacă ne referim la farurile vehiculului, sunt măsurătorile pe axa Oy considerate să asigure vizibilitatea șoferului, dar și pe axa Ox, care poate afecta ceilalți participanți la trafic prin fenomenele de orbire.

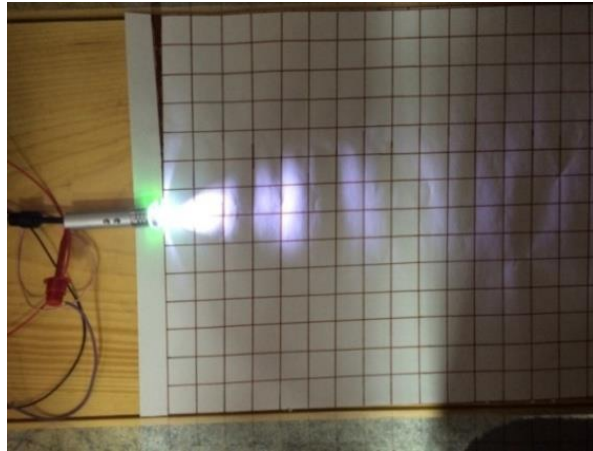


Fig. 5.18 Măsurători realizate cu o tablă gradată

Primul pas a fost analiza formei fasciculului de lumină prin creșterea intensității curentului de la intrare, la o tensiune constantă de 5V. S-au realizat măsurători în domeniul 1mA - 20mA, iar dimensiunile fasciculului au fluctuat de la 4 la 12 cm pe axa X și de la 9 la 30 cm pe axa Y, așa cum se poate observa în Tabelul 3.

Tab. 3 Puterea la intrare vs dimensiunea fasciculului pentru un dispozitiv LED

Tensiune [V]	Intensitate [mA]	Orbire X [cm]	Vizibilitate Y [cm]
5	1	4	9
	2	5	11
	3	6	16
	4	8	16
	5	9	17
	6	10	19
	7	10	20
	8	10	23
	9	10	24
	10	11	24.5
	11	11	25
	12	11	27
	13	11.5	28
	14	11.5	29
	15	11.5	29
	16	11.5	29
	17	11.5	29.5
	18	12	29.5
	19	12	30
	20	12	30

Dispozitivul utilizat în acest experiment conține două LED-uri albe poziționate simetric față de axa centrală. În felul acesta aranjamentul structural al emițătorului de lumină a fost aproape de cel utilizat pe vehicule. Măsurătorile au fost făcute în condiții de întuneric pentru a vedea exact forma fasciculelor LED-urilor, astfel încât să se poată înțelege felul în care se comportă această tehnologie, principiile fiind apoi valabile și pentru farurile dezvoltate pe tehnologia LED.

Următorul pas al experimentului a fost evaluarea formei fasciculului LED-urilor în condiții de ceață la o intensitate constantă de 20 mA și a face o comparație cu rezultatele din tabelul 3. După cum se poate observa în tabelul de mai jos (Tab. 4) pentru condiții de ceață redusă la 20mA forma fasciculului LED-urilor a avut aceleași dimensiuni ca și pentru condiții fără ceață la 10 mA. Continuând pe același principiu, putem observa că pentru condițiile de ceață moderată forma fasciculului corespunde celei la 4mA (fără ceață) în timp ce pentru condiții de ceață densă forma fasciculului este identică cu cea pentru condiții fără ceață la 2mA.

Tab. 4 Intensitatea curentului vs lungimea fasciculului pentru un dispozitiv LED

Intensitatea curentului în dispozitiv	Nivele de ceață	Intensitatea curentului corespunzătoare vizibilității
20mA	Ceață redusă	10mA
	Ceață moderată	4mA
	Ceață densă	2mA

### 5.3.3 Evaluarea performanțelor dispozitivelor LASER

De data aceasta, pentru a evalua fasciculul laser, tabela divizată nu mai este utilă, deoarece laserul concentrează energia într-un singur punct, astfel încât este mult mai dificil de evaluat forma fasciculului său în condiții fără ceață (pentru cazul cu ceață o scurtă analiza s-a prezentat în subcapitolul 5.2). Astfel, s-a folosit un dispozitiv de măsurare a puterii optice pentru a putea realiza analogia dintre fiecare nivel de ceață și intensitatea curentului la intrarea dispozitivului laser.

Newport Power Meter Model 1918-c este un dispozitiv care permite utilizatorului să măsoare puterea optică a unei surse de lumină pe lungimea de undă dorită. Dispozitivul a fost mai pe larg prezentat în subcapitolul 2.4.3.

Mediul cețos a fost realizat cu ajutorul unui generator de ceață plasat în modelul experimental (Fig. 5.19), care transformă un lichid, special pentru crearea de ceață, în vapori prin trecerea acestuia printr-un transformator de căldură cu ajutorul unei pompe. Când acești vapori intră în contact cu aerul rece din afara mașinii, se realizează efectul de ceață. Mai multe informații despre dispozitiv și modul de funcționare al acestuia, se găsesc în subcapitolul 2.4.1.

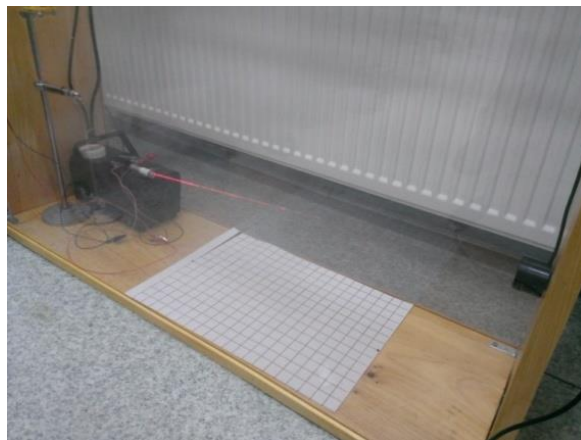


Fig. 5.19 Modelul experimental din laborator

Pentru a măsura puterea optică, după parcurgerea unei distanțe, fasciculul laserului este fixat pe senzorul fotodiodei dispozitivului de măsurare (a puterii optice). Se variază apoi puterea de alimentare a lui (laserului), așa cum s-a procedat și în secțiunea anterioară, când am evaluat fasciculul LED-ului. Ca emițător s-a folosit un pointer laser roșu (Fig. 5.19) cu lungimea de undă în intervalul 610 - 650nm, iar la receptorul optic s-a setat lungimea de undă la 633nm. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 5: puterea maximă la ieșire este de 1mW, aceasta fiind măsurată la curenți mai mari de 16mA la intrare, tensiunea la intrare fiind constantă la 5V. La curenți mai mici de 3mA, la o distanță de aproximativ un metru între emițătorul laser și senzorul fotodiodei, receptorul optic nu mai sesizează lumina roșie, iar rezultatele afișate sunt în intervalul de zgomot.

Tab. 5 Puterea la intrare vs puterea la ieșire pentru un dispozitiv laser

Tensiune [V]	Intensitate [mA]	Putere la ieșire
5	1	Zgomot
	2	Zgomot
	3	17.3uW
	4	18uW
	5	19uW
	6	20.5uW
	7	22uW
	8	23.5uW
	9	25.8uW
	10	28.8uW
	11	34.3uW
	12	57uW
	13	300uW
	14	575uW

	15	860uW
	16	~ 1mW
	17	
	18	
	19	
	20	

În tabelul 6 este prezentată o comparație între diferite nivele de ceață și ce reprezintă acestea, din punctul de vedere al intensității curentului de intrare, pentru condițiile fără ceață. Pentru condiții de ceață redusă, la un curent de 20mA, dispozitivul de măsurare a puterii optice a afișat o putere de aproximativ 500μW, care corespunde unui curent de 14mA în cazul în care nu există ceață în încăperea unde se realizează măsurătorile. Pentru condițiile de ceață moderată (medie), valoarea afișată a fost de 300uW, care corespunde la 13mA, în timp ce pentru condiții de ceață densă valoarea afișată a fost de aproximativ 50μW care concordă la o intensitate a curentului sub 12mA. Analizând tabelele 4 și 6, putem trage o primă concluzie: ceața nu influențează lumina laser (la o lungime de undă de 650nm în experimentul de față) la fel de mult cum o face în cazul luminii LED-ului.

Tab. 6 Puterea la ieșire în diferite condiții de ceață pentru un dispozitiv laser

Intensitatea curentului în dispozitiv	Nivele de ceață	Puterea la ieșire	Corelația cu condițiile fără ceață – intensitatea curentului
20 mA	Fără ceață	1mW	16 – 20mA
	Ceață redusă	500μW ± 10%	14mA
	Ceață moderată	300μW ± 10%	13mA
	Ceață densă	50μW ± 10%	1 – 12mA

### 5.3.4 Evaluarea acuității vizuale umane

Așa cum am precizat chiar de la începutul capitolului, unul dintre scopurile principale ale acestei cercetări a fost acela de a realiza o corespondență/legătură între performanțele sistemelor automate de detectare a vizibilității terestre și cele ale sistemului vizual uman. Pentru a fi cât mai aproape posibil de cerințele medicale, s-au folosit tabele cu optotipuri, care sunt folosite și de medici pentru a testa vizual oamenii înainte de a obține permisul de conducere. Una dintre cele mai populare metode pentru a testa acuitatea vizuală este citirea tabelului Sneller (fig. 5.20 a), folosit încă din 1862. Literele dintr-un tabel de testare a acuității vizuale sunt cunoscute sub numele de optotipuri, iar acestea sunt proiectate pe baza grosimii liniilor, grosime ce trebuie să fie egală cu spațiul dintre linii. În ceea ce privește dimensiunea lor, înălțimea și lățimea trebuie să fie de cinci ori grosimea liniei așa cum este evidențiat în figura 5.21.

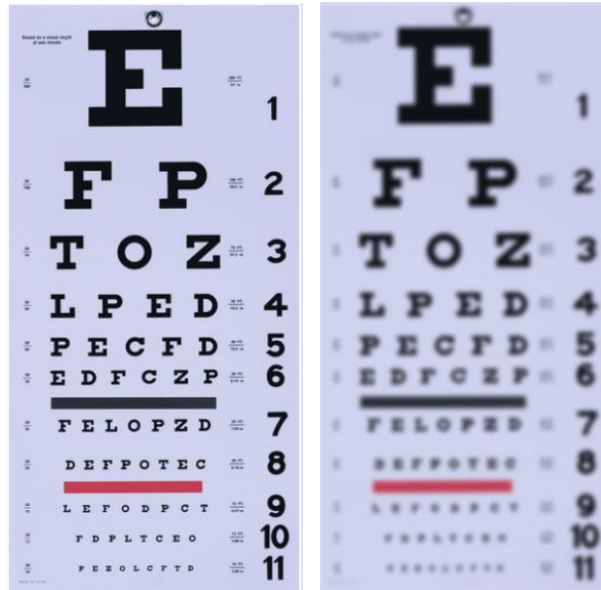


Fig. 5.20 Tabelul Sneller: a). Vedere clară; b). Vedere înceteșată

Dimensiunea optotipurilor în funcție de distanța de observare este descrisă în continuare: ochiul trebuie să fie la o distanță de 68,75 ori mai mare decât înălțimea simbolului din vârful tabelii. Distanța standard pentru realizarea măsurărilor este de 6 metri iar pentru această distanță, înălțimea literei superioare trebuie să fie de 88.6 mm în timp ce dimensiunea literelor din ultimul rând ar trebui să fie de 8,86 mm. Dar pentru că în multe încăperi nu se pot realiza aceste condiții, optotipurile pot fi redimensionate:

$$\text{Distanța de vizualizare} = 68.75 * \text{optotipul din vârful tabelii} \quad (5.2)$$

O persoană care este testată cu această tabelă trebuie să citească literele rând după rând începând cu litera de sus, de la o distanță standard (6 metri sau 3 metri). După cum se poate vedea în figura 5.20, ultimul rând are litere de dimensiuni foarte mici, citirea acestora indică o acuitate vizuala normală. Cel mai mic simbol care poate fi credibil identificat este considerat acuitatea vizuală a persoanei, care se calculează după cum urmează<sup>5</sup>:

$$AV = D_t / D_o \quad (5.3)$$

unde:

- AV reprezintă Acuitatea Vizuală
- $D_t$  reprezintă distanța la care se face testul
- $D_o$  reprezintă distanța la care a fost identificat cel mai mic optotip observat la un unghi de 5 minute de arc

<sup>5</sup> <https://www.greferat.com/referate/medicina/ACUITATEA-VIZUALA611.php>

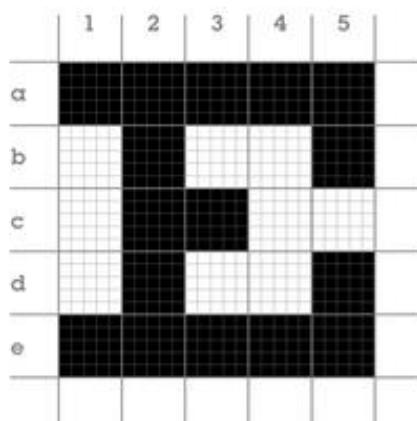


Fig. 5.21 Proiectarea optotipului

Revenind la figura 5.20a, o acuitate vizuală normală este reprezentată de citirea celui de-al 8-lea rând din tabelă care este notat cu 6/6 sau 20/20. Ceața poate provoca aceleași efecte ca bolile de ochi, astfel încât (după unele rezultate experimentale) autorul tezei propune o analogie între diferitele nivele de ceață și severitatea deficienței vederii. Un exemplu de vedere încețoșată este prezentat în figura 5.21b, unde primul rând care poate fi citit este cel de-al 7-lea, ceea ce înseamnă o acuitate vizuală de 20/25. Pentru a testa automat acuitatea vizuală s-a realizat un model experimental compus dintr-o cameră video, o tabelă cu optotipuri și un generator de ceață, după cum se poate observa în figura 5.22.



Fig. 5.22 Model experimental pentru testarea automată a acuității vizuale

Tabela de testare a acuității vizuale a fost redimensionată pentru o distanță de observare de un metru, acesta fiind spațiul maxim disponibil în cutia în care s-a creat mediul cețos. Utilizând formula (5.2) s-a obținut o înălțime de 14,76 mm pentru cel mai mare optotip și 1,476 mm pentru cel mai mic. Camera utilizată în modelul experimental (fig. 5.22) este o cameră full HD cu rezoluție de 13 MP, capabilă să discearnă cele mai mici detalii, foarte aproape de ochiul uman.

Optotipurile din tabelă sunt identificate automat folosind un algoritm OCR (Optical Character Recognition – Recunoașterea optică a caracterelor). Pe lângă această detectare automată s-au folosit și observatori umani pentru a obține rezultatele valide (10 observatori). În tabelul de mai jos este prezentată o relație între diferite nivele de ceață și acuitatea vizuală corespunzătoare (Tab. 7), iar în figura 5.23 sunt prezentate rezultatele obținute în laborator.

Tab. 7 Nivele de ceață vs Acuitatea vizuală

Nivele de ceață	Acuitatea vizuală
Fără ceață	20/20
Ceață redusă	20/30
Ceață moderată	20/50
Ceață densă	20/200



Fig. 5.23 Nivele de ceață vs acuitatea vizuală



Vizibilitatea normală este înregistrată ca 20/20 sau 6/6 ceea ce înseamnă că al optulea rând de optotipuri poate fi observat de la o distanță de 20ft (6 metri). Pe de altă parte, o acuitate vizuală de 20/40 (al 7-lea rând) înseamnă că cel mai mic simbol care poate fi citit din tabelă este de două ori mai mare decât pentru vizibilitatea normală, în timp ce 20/200 reprezintă că obiectul este de zece ori mai mare.

Fasciculul sursei laser a fost monitorizat cu ajutorul unui dispozitiv de măsurare a puterii optice (Newport Power Meter Model 1918-c) și s-a realizat o conexiune între nivelurile de ceață și puterea la ieșirea sursei, variind puterea de intrarea a acestuia. Puterea optică oferită de dispozitivul laser este de trei ori mai mare decât cea oferită de un LED la o putere de intrare maximă de 100mW; puterea optica a dispozitivului laser scade însă brusc la puteri de alimentare de sub 65mW.

O altă concluzie este că ceața nu influențează lumina laser la fel de mult ca în cazul LED-ului (a se vedea tabelele 4 și 6). După aceste experimente rezultă că se poate împărți ceața în diferite categorii doar evaluând intrările și ieșirile unei surse de lumină.

Un pas extrem de important al experimentului de față a fost acela de a demonstra că rezultatele înregistrate în urma experimentelor sunt valabile pentru o ființă umană. Astfel folosind tabela cu optotipuri a fost realizată o legătură între nivelele de ceață și acuitatea vizuală.

Dacă principiile enumerate mai sus vor fi folosite într-un singur sistem, acesta poate determina distanța de vizibilitate în condiții de ceață bazată pe cerințele medicale: după obținerea rezultatelor de la evaluatorul sursei de lumină, sistemul indică un nivel de ceață care este apoi "tradus" într-un domeniu (distanță) de vizualizare pe baza pragurilor determinate cu tabela oculară.

Aceste principii pot fi folosite pentru dezvoltarea sistemelor staționare (instalate în "puncte fierbinți" și capabile să informeze conducătorii auto despre condițiile meteorologice prin transmiterea de notificări) și sistemelor mobile (instalate în/pe vehicul) doar calibrând sursele de lumină utilizate pentru sistemul respectiv.

## 5.4 Modelul experimental de 3 metri

Dacă în experimentul precedent paralela cu acuitatea vizuală s-a realizat prin dimensionarea tabelii cu optotipuri pentru o distanță de un metru, în experimentul de față s-a dorit utilizarea unui optotip standard, folosit în cabinetele de oftalmologie, distanța necesară pentru observare fiind de trei metri. Astfel, următorul pas al cercetării a fost acela de a construi un sistem experimental, cu o lungime de trei metri, cu care să poată fi testate și validate abordărilor publicate în literatura de specialitate (publicat în [106]), în ceea ce privește problema de vizibilitate redusă cauzată de condițiile meteo nefavorabile (în principal de ceață) pentru a determina avantajele și dezavantajele acestor metode în practică și a confirma concluziile teoretice trase în capitolul 3.

Cercetarea din acest subcapitol are ca și prim scop dezvoltarea și testarea unui model experimental capabil să valideze sistemele automate inteligente pentru estimarea distanței de vizibilitate în condiții de ceață; obiectivul principal al acestei cercetări este propunerea unui sistem robust, capabil să ofere rezultate de acuratețe, care să ajute șoferii în luarea anumitor decizii în condiții de vreme neavorabilă; pasul următor ar fi

instalarea unui astfel de sistem pe mașinile autonome, în acest caz sistemul va comunica direct cu sistemul de comandă al mașinii. Transmiterea acestor informații mai departe, pe canalele radio (alocate pentru transportul public) permit adaptarea vitezei în condiții meteorologice nefavorabile, ceea ce înseamnă reducerea riscului de accidente.

La baza activităților din acest subcapitol stau trei obiective: primul este acela de a folosi rezultatele obținute în cercetările anterioare - deja prezentate în capitolele anterioare - și de a realiza un demonstrator, în laborator, pentru a efectua testele. Al doilea obiectiv este de a testa și de a valida o metodă adecvată pentru estimarea distanței de vizibilitate în condiții de ceață. Având în vedere multitudinea de abordări din literatura de specialitate, trebuie să se decidă care este cea mai potrivită pentru a fi folosită pe autostrăzi ca și sistem staționar dar să existe posibilitatea de a fi instalată și pe vehicule, ca sistem mobil. Validarea rezultatelor măsurătorilor se face prin compararea lor cu acuitatea vizuală umană, care este testată folosind o tabelă cu optotipuri în aceleași condiții de mediu (ceață). În acest fel se realizează legătura dintre acuitatea vizuală determinată de oftalmologi cu tabela oftalmologică și distanța de vizibilitate estimată de sistemele automate. Al treilea obiectiv este transferul de cunoștințe în cele mai recente tehnologii și diseminarea rezultatelor. Sinteza concluziilor obținute după experimente ne conduce la configurația finală a structurii sistemului inteligent de estimare a vizibilității.

#### **5.4.1 Modelul experimental: structura și scop**

Realizarea unui model experimental, în laborator, care să permită studiul și experimente, în condiții de repetabilitate, a tehnicilor și metodelor (existente și noi propuse de autor) pentru estimarea vizibilității în condiții de ceață, a fost primul obiectiv stabil în partea introductivă a acestui lucrări, obiectiv de mare importanță pe care se bazează întreaga parte experimentală ce va conduce la propunerea unui sistem fiabil care să realizeze estimarea ceții într-un mod automat.

În urma analizei efectuate asupra lucrărilor publicate în literatură, analiză prezentată în capitolul 3, se poate observa că metodele prin care se încearcă rezolvarea problemei degradării vizibilității în condiții de ceață sunt împărțite în două mari categorii, îmbunătățirea vizibilității și detectarea ceții. Modelul experimental prezentat în cercetarea de față trebuie să aibă capacitățile de a putea testa următoarele metode (ce fac parte din cele două categorii), în vederea analizei eficienței lor: măsurarea lungimii unui fasciculului laser până când acesta se dispersează complet în ceață, analiza aureolei unui fascicul de lumină la trecerea prin ceață (dispersie), detectarea caracterelor de pe o tabelă cu optotipuri în condiții de ceață (prin OCR), analiza vizibilității marcajelor rutiere pe șosea, eliminarea ceții din imagine, măsurarea puterii optice a unui fasciculului emis de o sursă de lumină după trecerea printr-un mediu cețos, măsurarea puterii optice dispersate a unui fascicul emis de o sursă de lumină (metoda „backscattering”).

Principalele cerințe în realizarea acestui model experimental sunt:

- Oferirea posibilității de a realiza diferite condiții de ceață – este necesar un generator de ceață și măsurarea cantității de lichid utilizat în generarea ceții; cunoscând volumul încăperii se va putea determina densitatea ceții.
- Flexibilitate în testarea metodelor din ambele categorii descrise în capitolul 3, îmbunătățirea vizibilității și detectarea ceții - camerele video sunt obligatorii pentru ambele categorii; modelul experimental este echipat cu camere video în interiorul

- încăperii, dar și în afara acesteia, pentru a monitoriza întregul proces. Imaginile achiziționate cu camerele video sunt trimise către un computer unde sunt procesate. Pentru cea de-a doua categorie (dectecție de ceață), în setup există o sursă optică (laser) și un receptor optic, acestea putând fi utilizate pe baza metodei ce se dorește a fi testată (măsurare directă sau inversă).
- Îndeplinirea cerințelor oftalmologice pentru măsurarea acuității vizuale – modelul experimental are o lungime de trei metri, pentru a îndeplini aceste cerințe; pe parcursul experimentelor, în diferite condiții meteo, optotipurile sunt monitorizate cu ajutorul unei camere folosind algoritmi de dectecție OCR (Optical Character Recognition). Pe de altă parte modelul experimental trebuie să ofere posibilitatea ca în aceleași condiții de ceață, acuitatea vizuală să poată fi monitorizată cu ajutorul unor observatori umani care trebuie să identifice optotipurile privind din capatul opus al „tunelului” față de poziționarea tablei cu optotipuri (figura 5.25 – partea dreaptă).

Există câteva cerințe/caracteristici suplimentare necesare pentru ambele categorii, cum ar fi posibilitatea de a crea un strat de ceață și nu doar ceață constantă pe întregul volum. Această caracteristică oferă șansa de a analiza diferența dintre norii foarte densi comparativ cu o suprafață mai extinsă cu ceață de densitate mică; sunt, de asemenea, necesare diferite tipuri de senzori, cum ar fi senzorii de temperatură, luminozitate sau umiditate, pentru a înțelege schimbările ce pot avea loc în mediul cețos, pentru aceeași cantitate de ceață. Experimentele sunt efectuate în laborator în condiții de zi și de noapte, deoarece efectul ceții în condiții diurne poate fi total diferit în comparație cu cel din condiții nocturne, unde farurile vehiculelor pot avea, de asemenea, un impact negativ.

Validarea rezultatelor și indicarea celei mai eficiente metode (parte a celui de-al doilea obiectiv stabilit pentru această cercetare) se face prin compararea rezultatelor oferite de aceste metode cu acuitatea vizuală umană / recunoașterea vizuală determinată cu ajutorul tablei cu optotipuri în aceleași condiții de ceață, pe baza experimentelor efectuate cu modelul prezentat în continuare. Modelul experimental propus pentru a fi dezvoltat și testat, prezentat în figura 5.24, include un dispozitiv care generează ceață (cantitatea de lichid fiind permanent măsurată folosind un pahar Berzelius și un cântar de bijutieri) într-o încăpere cu pereți transparenti, de dimensiuni și volum cunoscute. În interiorul încăperii există dispozitive de monitorizare a temperaturii și umidității, o cameră video, iar în afara acesteia există încă două camere video care filmează fenomenul ce are loc în interiorul camerei.

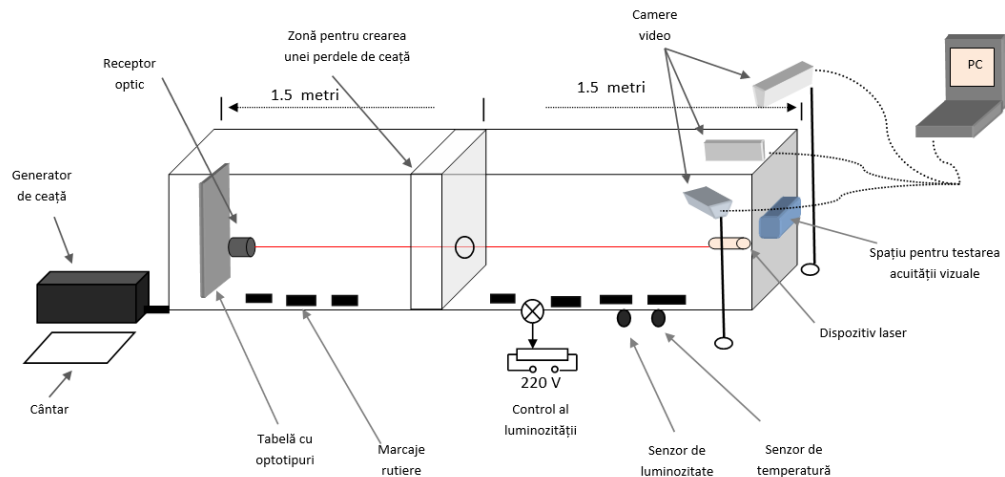


Fig. 5.24 Structura modelului experimental de testare și validare a metodelor de determinare a vizibilității în ceață

Pe unul din pereții interiori ai încăperii e amplasată sursa de radiație optică care emite către peretele opus un fascicul, cu lungimea de undă dorită și puterea de radiație constantă. Fasciculul laser ajuns în celălalt capăt al încăperii, e monitorizat cu un dispozitiv (Newport Power Meter Model 1918-c – 2.4.3) care măsoară puterea sa optică. De asemenea, pe peretele opus există și o tabelă cu optotipuri care este filmat cu o camera video din interior (fig. 5.25), dar există și posibilitatea să fie observată de către o persoană printr-un orificiu aflat lângă sursa de radiație. Claritatea imaginii optotipului, filmat cu camera video din interiorul încăperii, lungimea fasciculului observată din exterior cu camerele video și puterea optică a fasciculului măsurată după parcurgerea celor trei metri, sunt afectate de ceață. Astfel, există condițiile de validare a metodelor menționate mai sus și posibilități de estimare a distanței de vizibilitate.

Modelul experimental prezentat în figura 5.25, are o lungime de trei metri și un volum de  $0.576 \text{ m}^3$ ; a fost realizat pentru a putea crea un mediu cețos controlat. Precondițiile pentru realizarea experimentelor au fost: temperatura de  $20^\circ\text{C}$ ,  $400 \text{ lux}$  ( $\pm 10 \text{ lux}$ ) pentru condiții de zi respectiv sub  $20 \text{ lux}$  pentru condiții nocturne; legat de acuitatea vizuală sistemul, dar și observatorii umani (fără probleme de vedere), au fost capabili să identifice simbolurile de pe ultimul rând (al șaptelea, pentru optotipul de monitorizare al acuității vizuale de la 3 metri), ceea ce reprezintă o acuitate vizuală normală.



Fig. 5.25 Modelul experimental realizat în laborator

## 5.4.2 Rezultate experimentale și concluzii

La baza modelului experimental stau principii fundamentale observate și interpretate teoretic și prin mici experimente (formularea tehnologică) care necesită validarea pe demonstrator. Dispersia (plus absorbția și reflexia) radiației optice de către particulele de ceață are ca rezultat pierderea puterii optice, crearea unei aureole dintr-un punct de lumină concentrat (dacă ne referim la laser) și reducerea distanței în care fasciculul de radiații este vizibil. Imaginile în condiții de ceață sunt neclare (zgomotoase), cu contrast scăzut și contururi ale obiectelor confuze. Pentru toate acestea fenomene există diferențe, mai mult sau mai puțin semnificative, care corespund iluminării diferite din timpul zilei și a nopții. Un punct intermediar al proiectului de cercetare ar fi realizarea unui echipament demonstrativ cu o structură stabilă (o structură hardware și o metodă adecvată) ce poate fi verificat și validat într-un laborator (demonstrarea experimentală a conceptului pe baza funcționalităților critice). Acest lucru va conduce, în final, la un echipament staționar inteligent pentru estimarea distanței de vizibilitate în condiții de ceață, cu un raport rezonabil de performanță / cost. Ulterior, poate fi studiată dezvoltarea unei structuri mobile similare - una care poate fi integrată pe autovehicule.

### 5.4.2.1 Măsurarea puterii optice și a acuității vizuale

Prima metodă evaluată constă în măsurarea puterii optice a radiației laser care străbate o anumită distanță într-un mediu cu ceață, aceasta fiind o variantă simplă dar de încredere pentru evaluarea distanței de vizibilitate. Pe baza acestor informații putem calcula impactul densității de ceață ( $g/m^3$ ) asupra fasciculului laser. Pentru a testa influența ceții asupra vizibilității, s-au creat și utilizat cele două modele experimentale prezentate în capitolele anterioare:

- modelul experimental de dimensiuni reduse, 100x30x60 (cm), utilizat pentru crearea de perdele de ceață, de 30cm (fig.5.26).

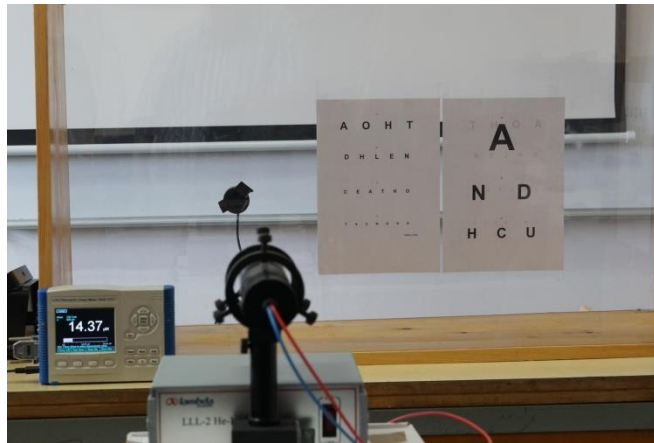


Fig. 5.26 Model experimental pentru realizarea unei perdele de ceață

- model experimental cu ceață uniformă, 300x48x47 (cm), (fig. 5.27), care respectă cerințele de măsurare a acuității vizuale stabilite de oftalmologi.



Fig. 5.27 Model experimental pentru realizarea de ceață uniform/omogenă

Cu acest două modele experimentale se poate identifica legătura/corelarea dintre scăderea puterii optice și scăderea acuității vizuale în condiții de ceață. Măsurătorile se realizează în ambele cazuri de la 3 metri, diferența fiind că pentru primul caz se crează doar un strat de ceață de 30cm, iar în al doilea caz ceața este constantă/omogenă (deși despre ceață este greu de spus că poate fi omogenă, deoarece ea este formată din valuri de particule, nu are o structură unitară) pe tot parcursul celor 3 metri. Această lungime, 3 metri, este distanța utilizată de oftalmologi atunci când evaluează acuitatea vizuală utilizând tabelele cu optotipuri.

Mai mult, pe întreaga durată a experimentelor nivelul de lichid utilizat pentru generarea diferitelor categorii de ceață a fost monitorizat, pentru fiecare volum al configurației. Camera video a fost poziționată la distanța de 3 metri față la tabela cu optotipuri în ambele cazuri. Prin această comparație s-a dorit să se prezinte influența densității ceții, dar și a grosimii acesteia asupra puterii optice și a acuității vizuale. Rezultatele obținute folosind un algoritm OCR au fost comparate cu cele obținute pe un eșantion de 100 persoane.

Tab. 8 Paralelă între pierderea puterii optice și a acuității vizuale pentru diferite cantități de ceață la un strat de ceață de 30cm și observarea tablei de la 3m

Distanța de măsurare	Acuitatea vizuală	Puterea optică [uW]	Cantitatea de lichid utilizată [g]	Densitatea ceții [g/m <sup>3</sup> ]
<b>3 metri Grosime ceață = 30cm</b>	0	57	2	11.11
	1	120	1.75	9.72
	2	140	1.5	8.34
	3	220	1.25	6.95
	4	280	1	5.56
	5	340	0.75	4.17
	6	550	0.5	2.78
	7	950	0.25	1.39



Fig. 5.28 Configurația cu strat de ceață: a) Condiții cu ceață densă; b) Condiții cu ceață moderată

Pentru modelul experimental în care s-a realizat doar un strat de ceață (fig. 5.28), s-au folosit diferite cantități de ceață pentru generarea ceții și s-au analizat acuitatea vizuală respectiv puterea optică pentru acele condiții, după cum se poate observa în tabelul 8. Astfel la o cantitate de 2g de lichid utilizat, a rezultat o densitate a ceții de 11.1g/m<sup>3</sup> în încăpere ceea ce din punct de vedere al acuității vizuale înseamnă orbire totală, iar puterea optică măsurată după parcurgerea stratului de ceață se află în/la



nivelul zgomotului. Revenind la partea teoretică referitoare la acuitatea vizuală (subcapitolul 2.1.4), trebuie avut în vedere pragul limită al acuității vizuale pentru a putea circula pe drumurile publice, care este de 0.5 (20/40), adică observarea rândului 5 din tabela cu optotipuri monitorizată în cadrul experimentelor de față (vezi capitolul 2.1.4). După cum se poate observa, la aceeași valoare densitatea ceții din încăperea este de aproximativ  $4.17\text{g/m}^3$ , puterea optică scăzând de aproximativ 6 ori față de valoarea inițială, fără ceață. Pentru densități ale ceții sub  $1.39\text{g/m}^3$  acuitatea vizuală este normală.

Tab. 9 Paralelă între pierderea puterii optice și a acuității vizuale pentru diferite cantități de ceață pentru ceață uniformă și observarea tabelii de la 3m

Distanța de măsurare	Acuitatea vizuală	Puterea optică [uW]	Cantitatea de lichid utilizată [g]	Densitatea ceții [g/m <sup>3</sup> ]
<b>3 metri Grosime ceață = 3m</b>	0	57	2	3.47
	1	120	1.75	3.05
	2	140	1.5	2.60
	3	220	1.25	2.14
	4	280	1	1.74
	5	340	0.75	1.31
	6	550	0.5	0.87
	7	900	0.25	0.44



Fig. 5.29 Configurația cu rază lungă: a) Condiții fără ceață; b) Condiții cu ceață

Pentru modelul experimental cu ceață uniformă (fig. 5.29), s-au utilizat cantități de lichid pentru generarea ceții de la  $0.25\text{g}$  ( $\pm 0.05\text{g}$ ) ceea ce înseamnă că la un volum de  $0.576\text{m}^3$  avem o densitate de  $0.44\text{g/m}^3$  de ceață până la  $2\text{g}$  ceea ce reprezintă aproximativ  $3.47\text{g/m}^3$ . În condiții reale, valorile tipice pentru conținutul de apă lichidă



(LWC) sunt  $0,05\text{g/m}^3$  pentru ceața medie și  $0,5\text{g/m}^3$  pentru ceața densă, însă în experimentul realizat în laborator, având o distanță scurtă de măsurare, a fost nevoie de o creștere a valorilor densității ceții. Înainte de a genera ceața puterea optică măsurată la ieșire a fost de  $2000\text{mW}$  (la o distanță de 3 metri), iar observatorii au fost capabili să citească rândul al șaptelea de pe tabela cu optotipuri.

Următorul pas a fost introducerea observatorilor umani în experimente pentru validarea rezultatelor obținute de la sistem. Astfel primul caz analizat este pentru o cantitate de  $0.5\text{g}$  lichid, utilizat pentru generarea ceții; după generarea acesteia și așteptarea unui timp de aproximativ  $30\text{s}$  pentru uniformizare, puterea optică la ieșire a scăzut la  $300\text{mW}$  și rândul vizibil de către cameră (folosind de un algoritm OCR) pe tabela cu optotipuri a fost numărul patru (notat R4 în figura 5.30). Un minut mai târziu, puterea optică la ieșire a crescut la  $400\text{mW}$ , iar rândul cinci de pe tabela cu optotipuri a devenit vizibil. Pe măsura trecerii timpului vizibilitatea s-a îmbunătățit, acest lucru se întâmplă datorită fuziunii cauzată de coliziunea particulelor de ceață. Teoria ce stă la baza acestor fenomene arată că, datorită mișcării browniene, turbulenței și gravitației are loc coliziunea dintre particule [110].

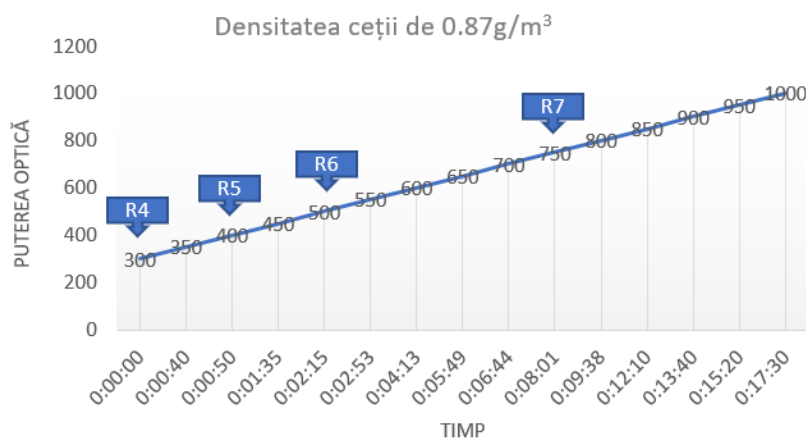


Fig. 5.30 Puterea optică și acuitatea vizuală testată cu cameră video și OCR la  $0.87\text{g/m}^3$

Vizibilitatea este mai puternic impactată atunci când există o densitate mai mare de particule de dimensiuni mai mici, datorită mișcării lor în mediu. În [110] Schumann a realizat o analiză a creșterii dimensiunii particulei odata cu trecerea timpului; rata de creștere este destul de lentă de la  $1$  la  $8\ \mu\text{m}$ , dar apoi aceasta crește rapid. Ținând cont de aspectele enunțate mai sus, s-a încercat o limitare a timpul de monitorizare, pentru fiecare grup de observatori, sub zece minute, astfel încât condițiile de ceață să fie aproximativ aceleași. O analiza referitoare la creșterea dimensiunii particulelor este prezentată și în [104], unde sunt analizate diferite tipuri de particule. Astfel, pe durata a cinci minute, pentru particulele de dimensiuni mai mari, raza acestora poate crește de aproximativ 6 ori (conform formulei 3.4 - capitolul 3.4.2) în timp ce pentru particulele de dimensiuni mai mici raza particulelor poate crește de până la 16 ori (conform formulei

3.5 – capitolul 3.4.2); astfel condițiile de evaluare pot diferenția foarte mult pe o durată mai lungă de timp.

Condițiile experimentale au fost reproduse, dar de această dată evaluarea a fost făcută cu 22 de observatori umani, împărțiți în două grupuri, pentru a menține pe cât posibil, aceleași condiții de vizibilitate. Pentru ambele grupuri, evaluarea a fost făcută în mai puțin de cinci minute, astfel încât eroarea în măsurare să fie redusă cât mai mult posibil. Rezultatele pot fi observate în figura de mai jos (fig. 5.31), unde majoritatea observatorilor (73%), au oferit rezultate în același interval ca și sistemul automat; pentru 27% dintre observatori, rezultatele au fost mai slabe decât cele obținute cu sistemul automat, dar mai mult de jumătate dintre acești observatori aveau boli de ochi cunoscute și nu purtau ochelarii în timpul experimentelor. Întorcându-ne din nou la partea teoretică, putem constata deja un mare risc de a circula pe drumurile publice în aceste condiții de ceață, 12 din cei 22 de observatori nefiind capabili să observe măcar rândul 5 din tabela cu optotipuri, considerat ca prag limită al acuității vizuale pentru a putea circula pe drumurile publice (vezi capitolul 2.4.1).

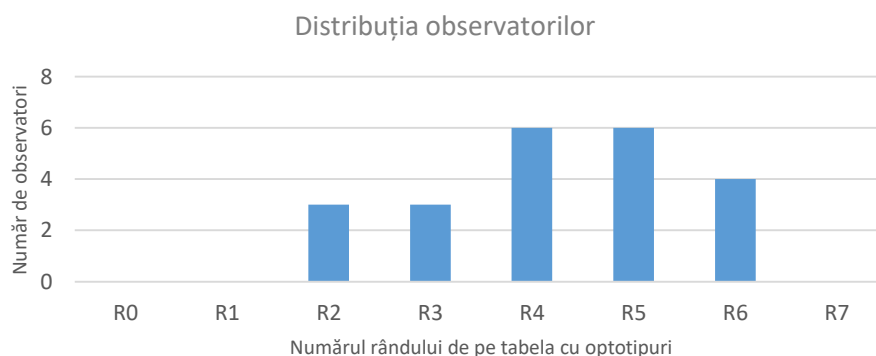


Fig. 5.31 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la  $0.87\text{g}/\text{m}^3$

În cel de-al doilea caz s-a utilizat  $1\text{g}$  ( $\pm 0.05\text{g}$ ) de lichid pentru generarea ceții, astfel densitatea ceții în încăpere a devenit  $1.74\text{g}/\text{m}^3$ . Toate evaluările din cadrul experimentelor s-au făcut până în momentul în care puterea optică la ieșire a ajuns la valoarea de  $1000\text{mW}$ ; în figura 5.32 se poate observa faptul că la momentul imediat următor generării ceții, vizibilitatea s-a redus aproape de zero, dar după câteva minute a crescut semnificativ. Cea mai mare perioadă din timpul de evaluare acuitate vizuală a rămas între cel de-al treilea și cel de-al șaselea rând.

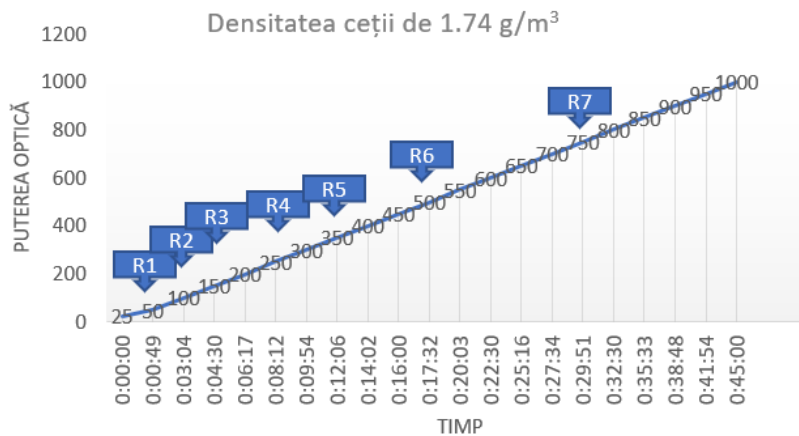


Fig. 5.32 Puterea optica și acuitatea vizuală testată cu cameră video și OCR la 1.74g/m<sup>3</sup>

Analizând acum figura 5.33, se poate observa că majoritatea observatorilor (13 din 16) au obținut rezultate între al patrulea și al șaselea rând, astfel se poate afirma că rezultatele sunt în aceleași interval, atât pentru sistemul automat cât și pentru observatori. Evaluarea observatorilor a fost realizată timp de aproximativ zece minute, iar panta detectării optotipurilor a fost similară cu cea a sistemului automat.

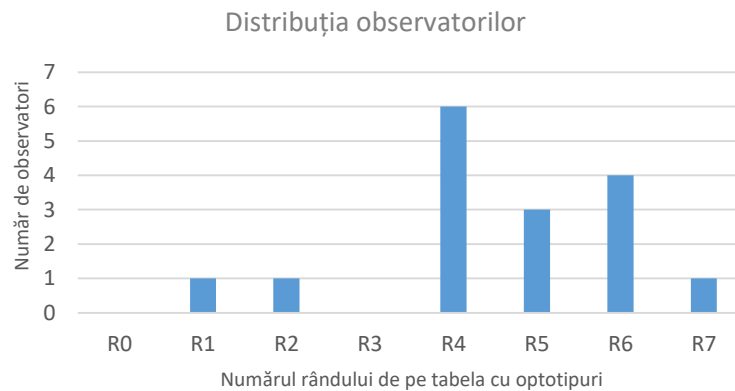


Fig. 5.33 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la 1.74g/m<sup>3</sup>

În cel de-al treilea experiment s-au folosit 1.5g (+/-0.05g) lichid pentru generarea ceții, ceea ce înseamnă o densitate de 2.6g/m<sup>3</sup> în încăperea. În imaginea 5.34

se poate observa că în primele zece minute vizibilitatea a fost într-adevăr slabă, sub al treilea rând.

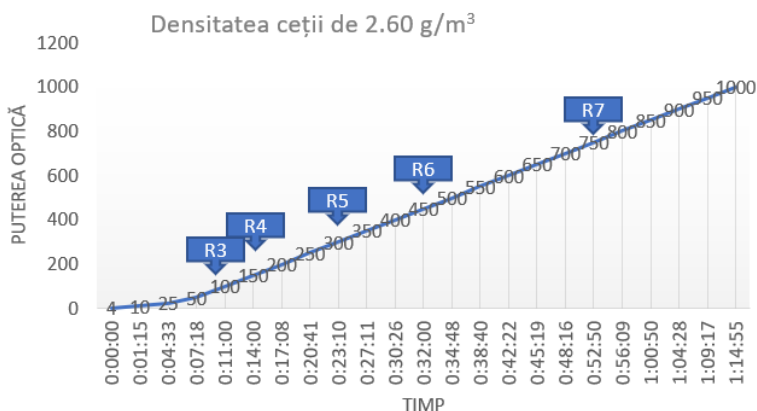


Fig. 5.34 Puterea optica și acuitatea vizuală testată prin cameră și OCR la 2.6g/m<sup>3</sup>

Pentru observatori, comportamentul a fost aproximativ la fel, din primii șapte observatori cinci nu au putut observa nimic. După câteva minute, vizibilitatea s-a îmbunătățit, ceea ce poate fi observat în figurile 5.34 și 5.35. Comparativ cu cele două experimente anterioare, pentru această densitate a ceații, acuitatea vizuală este cu adevărat slabă, iar conducerea vehiculelor nu este recomandată în astfel de condiții de vizibilitate, toți observatorii fiind sub pragul limită al acuității vizuale pentru a putea circula pe drumurile publice (rândul 5 din tabela cu optotipuri).

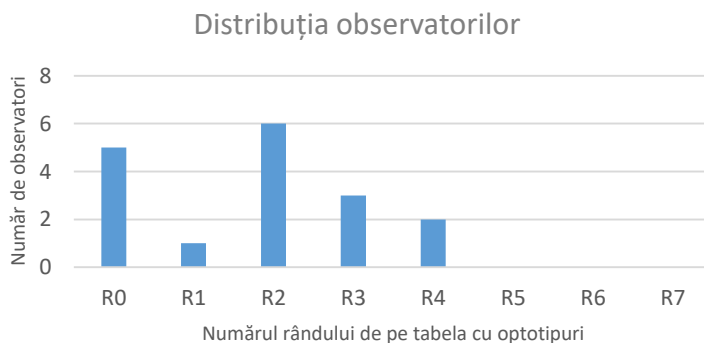


Fig. 5.35 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la 2.6g/m<sup>3</sup>

În ultimul experiment densitatea ceații a fost crescută la 3.47g/m<sup>3</sup>, fiind folosite 2g pentru generarea ceații. Vizibilitatea a fost zero pentru o lungă perioadă de timp, confirmată de sistem, dar și de observatori, 18 din 20 nu au fost capabili, în primele zece

minute, să discearnă vreun optotip din tabelul ocular, în timp ce ceilalți 2 observatori au putut vedea doar primul optotip.

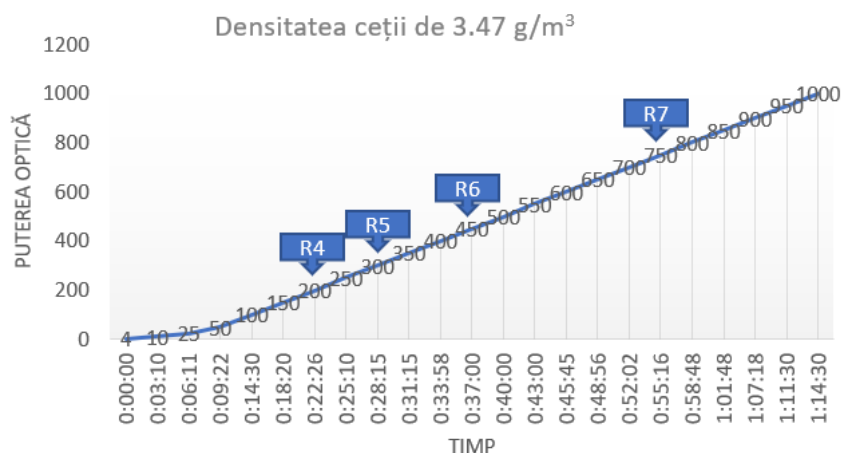


Fig. 5.36 Puterea optica și acuitatea vizuală testată prin cameră și OCR la 3.47g/m<sup>3</sup>

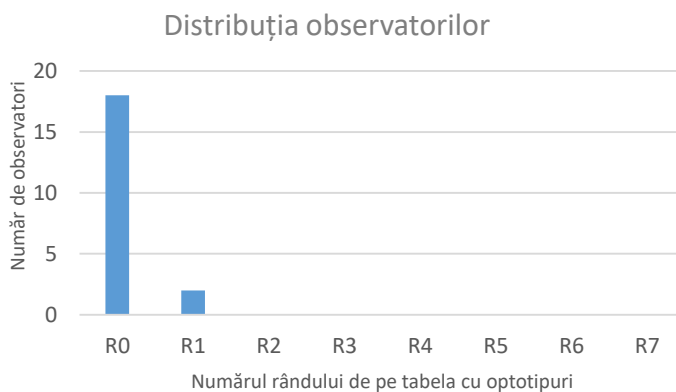


Fig. 5.37 Acuitatea vizuală testată cu observatorii umani la 3.47g/m<sup>3</sup>

În ambele configurații au fost generate diferite nivele de ceață, între 0,5g de lichid (nivel redus de ceață) și 2g de lichid (ceață densă), fiecare experiment fiind repetat de trei ori pentru confirmarea rezultatelor. Experimentele au fost monitorizate tot timpul cu o cameră care a înregistrat dispersia fasciculului laser la trecerea prin ceață (puterea optică a fost de asemenea monitorizată) și vizibilitatea optotipurilor în condiții de ceață (Fig. 5.28 și Fig. 5.29).

După aceste experimente s-a concluzionat că trebuie luate în considerare atât densitatea ceții, cât și grosimea stratului acesteia. Pentru o densitate mare a ceții ( $11.1 \text{ g/m}^3$ ), dar cu o grosime de numai 30 cm, au fost obținute aceleași rezultate ca și pentru o densitate mai mică a ceții ( $3.47 \text{ g/m}^3$ ) dar cu o grosime mai mare, de 3 metri (vezi tab. 8 și tab. 9). Acest lucru se întâmplă deoarece fasciculul laser întâlnește același număr de particule de ceață pe traseul spre receptorul optic. Legat de acuitatea vizuală, rezultatele au fost corelate cu cele obținute pentru măsurarea puterii optice.

#### 5.4.2.2 Telemetrul și Lidar

Dacă în subcapitolele precedente s-au prezentat experimente ce analizează impactul ceții asupra transmisiei directe, în această subcapitol se analizează impactul ceții asupra dispozitivelor bazate pe dispersia retrogradă. Pentru aceasta s-au folosit două dispozitive, un LIDAR și un Telemeter (fig. 5.38). Dispozitivul LIDAR este un model Lite V3hp, controlat de un Arduino, care oferă o rată de eșantionare de 1kHz și este capabil să realizeze măsurători între 5cm și 40m (cu o precizie de  $\pm 2\text{cm}$  pentru distanțe mai mari de 2m); funcționează pe o lungime de undă de 905 nm. Telemetrul este un model Bosch PLR 40c, capabil să măsoare distanțe până la 40m cu o precizie de  $\pm 2\text{mm}$ , timpul de măsurare fiind sub 0,5s; funcționează pe o lungime de undă de 632nm. În cadrul acestor experimente, s-au reprodus condițiile de ceață din subcapitolul 5.4.2.1 pentru a crea o legătură între rezultatele măsurătorilor directe, a celor retrograde și acuitatea vizuală.



Fig. 5.38 Evaluarea rezultatelor lidarului și telemetrului în diferite condiții de ceață

Rezultatele experimentelor realizate în patru tipuri de ceață (fiecare repetat de câte cinci ori) sunt prezentate în tabelul 10. Măsurătorile au fost începute în condiții fără ceață moment la care s-a ajustat poziția celor două dispozitive astfel încât să indice aceeași valoare măsurată.

După generarea ceții din 0.5g lichid, rezultatele oferite de telemetru au rămas neschimbate (comparativ cu cele în condiții fără ceață), în timp ce lidarul a indicat o scădere a vizibilității cu 14cm față de valoarea inițială. Crescând densitatea ceții în încăperea (1.74g/m<sup>3</sup>, folosind 1g lichid), se poate observa faptul că măsurătoarea telemetrului rămâne neimpactată, în timp ce lidarul indică o scădere semnificativă, de aproximativ 60% față de valoarea inițială (1.27 metri). Mergând și mai departe cu creșterea densității ceții, la 2.6g/m<sup>3</sup>, se poate observa un impact major asupra telemetrului care nu mai este capabil să realizeze măsurători; lidarul în schimb reușește să continue măsurătorile, returnând o valoare de 0.86m. În ultimul caz, la o densitate de 3.47g/m<sup>3</sup>, telemetrul rămâne în aceeași stare de eroare, în timp ce distanța percepută de lidar este în scădere.

Tab. 10 Rezultatele obținute în urma măsurătorilor cu dispozitivele LIDAR și Telemetru în diferite condiții de ceață

Cantitate lichid [g]	Densitate ceață [g/m <sup>3</sup> ]	Rezultate LIDAR [m]	Rezultate Telemetru [m]
0	-	3	3
0.5	0.87	2.86	3
1	1.74	1.27	3
1.5	2.6	0.86	Error
2	3.47	0.64	Error

Comportamentul celor două dispozitive, în condiții de ceață diferă extrem de mult: telemetrul oferă rezultate corecte până la o anumită densitate a ceții, moment în care nu mai este capabil să ofere niciun rezultat (perceput de dispozitiv ca distanță mai mare de 40m), returnând în acest caz fie eroare, fie indicând distanța până la norul de ceață (fig. 5.38); de cealaltă parte, măsurătorile lidarului sunt impactate de particulele de ceață din primele momente în care acestea apar în încăperea, dar este totuși capabil să ofere rezultate la densități foarte mari ale ceții, distanțele indicate de dispozitiv scăzând pe măsură ce densitatea ceții crește. Una dintre cauzele obținerii acestor rezultate ar fi lungimile de undă pe care funcționează cele două dispozitive, lidarul având o lungime de undă mai mare (905nm) față de telemetru (632nm) ceea ce face ca undele transmise de acesta să fie mai puțin impactate de particulele de ceață.

Ca și concluzie parțială a acestor măsurători, lidarul pare potrivit spre a fi utilizat într-un sistem mai complex de detecție a ceții, undele sale fiind capabile să se reflecte din ceață, chiar și la o densitate mai ridicată, în timp ce telemetrul se dovedește complet inutil în condiții de ceață densă.

#### 5.4.2.3 Influența dimensiunii particulei de ceață

Ceața este o acumulare de picături de apă a căror diametru variază, fiind într-o gamă de la zeci la sute de microni. Influența fenomenelor de dispersie și reflexie a undelor optice este strâns legată de diametrul picăturii de apă. Un diametru mai mic, cu o densitate mai mare are ca efect o mai mare degradare a semnalului luminos prin mediul înconjurător. În [83] V. Brazda a măsurat atenuarea transmisiei optice pe baza distribuției

dimensiunii picăturilor de ceață; primul parametru ce l-a utilizat în cercetare este densitatea ceții pe baza căruia poate fi estimată vizibilitatea. Ceilalți parametri folosiți sunt parametrii de distribuție a dimensiunii picăturilor: suprafața particulelor și conținutul de apă lichidă, care sunt măsurate cu ajutorul a PWM-100 (monitorizarea volumului particulelor).

În cadrul experimentelor realizate în laborator, pentru generarea ceții s-a folosit generatorul de ceață modelul B-500 descris în subcapitolul 2.4.1. Pentru realizarea unei comparații între condițiile de ceață create în laborator și cele reale s-au analizat particulele de ceață generate cu acest dispozitiv pentru a înțelege cât de aproape sunt condițiile realizate în laborator de condițiile reale, din punct de vedere al dimensiunii particulei și al densității de particule pe un anumit volum, principalii factori ce duc la degradarea vizibilității.

Analiza s-a realizat cu ajutorul unui microscop Olympus BX51M, prin imprimarea unor particule de ceață (generate) pe o bucată de oglindă și pe un metal lucios (Fig. 5.39). La microscop a fost conectată o cameră pe toată durata experimentului, imaginile fiind achiziționate, afișate pe un ecran și mai apoi analizate cu ajutorul programului special dezvoltat de cei de la Olympus pentru analiza de imagini, analySIS.

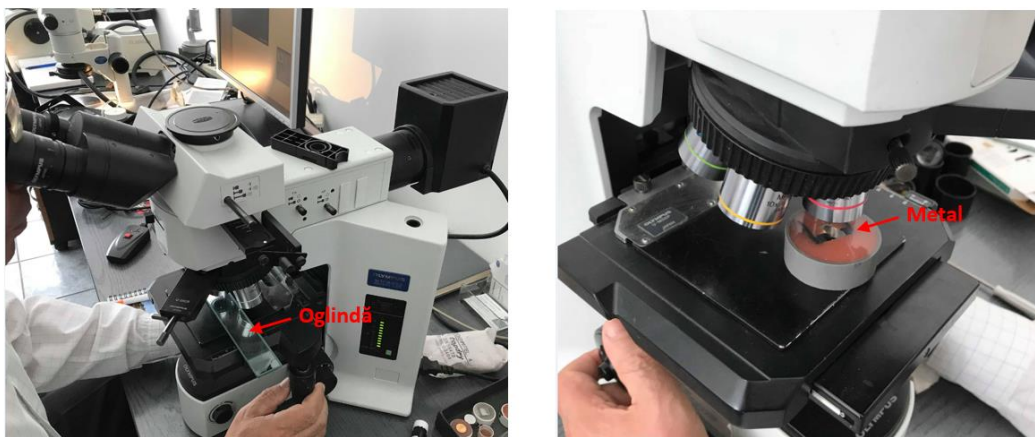


Fig. 5.39 Analiza particulelor de ceață pe a) oglindă b) metal

Microscopul permite realizarea unui zoom de până la x500, permițând astfel observarea, măsurarea și analiza amănunțită a particulei de ceață. Ca și parametrii de interes în analiza realizată sunt: selectarea zonei de interes (ROI area) dintr-o anumită imagine, zonă în care tool-ul e capabil să numere particulele prezente precum și să ofere o densitate a acestora prin calcularea procentului reprezentat de particule în zona selectată. În ceea ce privește particulele, tool-ul permite calcularea ariei fiecărei particule, factorul de formă („shape factor”) care e raportul dintre valoarea efectivă a unei particule și valoarea medie din ROI, raportul de aspect („aspect ratio”) care e raportul dintre lățimea și înălțimea fiecărei particule dar și încadrarea particulelor în diferite clase în funcție de caracteristicile particulelor descrise mai sus.



În figurile de mai jos (Fig. 5.40 și Fig 5.41) sunt prezentate două exemple de analiză a particulelor, prima la un zoom de x50 iar cea de-a doua la un zoom de x200, dimensiunile particulelor variind între 1.45  $\mu\text{m}$  și 2299  $\mu\text{m}$  (unele ies din intervalul dimensiunilor particulelor de ceață specificat ca fiind până la ordinul sutelor de microni, cele de ordinul mm fiind deja particule de ploaie – vezi tab. 2) , restul parametriilor fiind descriși în cele ce urmează (Tabelul 11):

Tab. 11 Cele două cazuri de particule de ceață analizate

	Aria zonei de interes [ $\mu\text{m}^2$ ]	Număr particule	Densitate particule	Suprafață medie particulă [ $\mu\text{m}^2$ ]	Factorul de formă mediu al particulelor	Raportul de aspect mediu al particulelor
Cazul 1	$2.31 * 10^6$	2280	19.67	199	0.59	2.28
Cazul 2	$32.72 * 10^3$	335	22.75	98	0.45	2.00

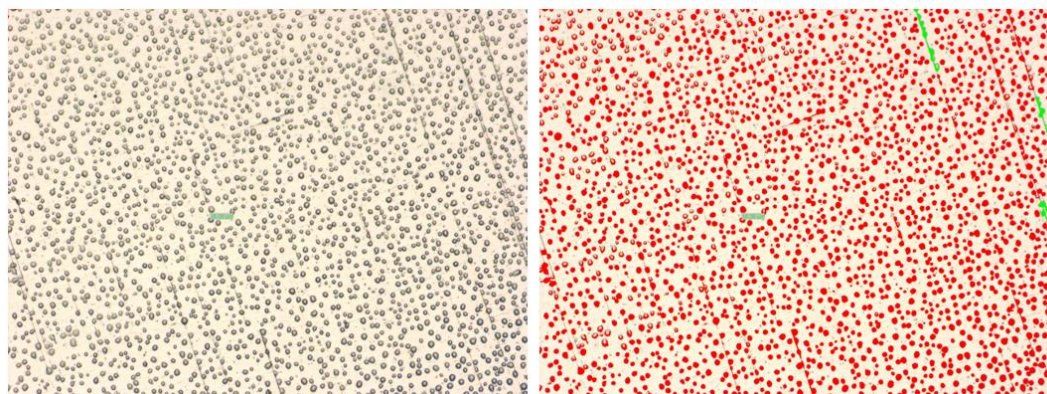


Fig. 5.40 Analiza la zoom x50 a). originală b). prelucrată

Pentru regiunea de interes selectată mai sus, având o suprafață de 2.3 milioane  $\mu\text{m}^2$ , au fost identificate 2280 de particule de ceață, care ocupă 19.68% din imagine. Dimensiunile particulelor au variat de la 23.32  $\mu\text{m}$  până la 2299.35  $\mu\text{m}$ , media pe toate cele 2280 de particule fiind de 199  $\mu\text{m}$ .

Pentru cel de-al doilea exemplu, zona de interes (ROI) a fost mult redusă comparativ cu primul, suprafața fiind de doar 143843  $\mu\text{m}^2$ , numărul de particule identificate fiind 335, ocupând 22.75% din zona selectată. În acest caz dimensiunea particulelor a variat de la 1.45  $\mu\text{m}$  până la 946  $\mu\text{m}$ , având o medie de aproximativ 98  $\mu\text{m}$ .

Următorul pas în experimentul de față este de a determina matematic influența dispersiei și absorbției particulelor asupra fasciculului laser, folosind metoda disperse Mie (prezentată în capitolul 4.6). Pentru aceasta s-a folosit instrumentul MiePlot (versiunea 4.6); ulterior rezultatele matematice se vor compara cu cele empirice, legate de împrăștierea și absorbția fasciculului laser, obținute în configurația experimentală. Se va prezenta în continuare primul scenariu din această secțiune, principiile fiind aceleași pentru alte cazuri.

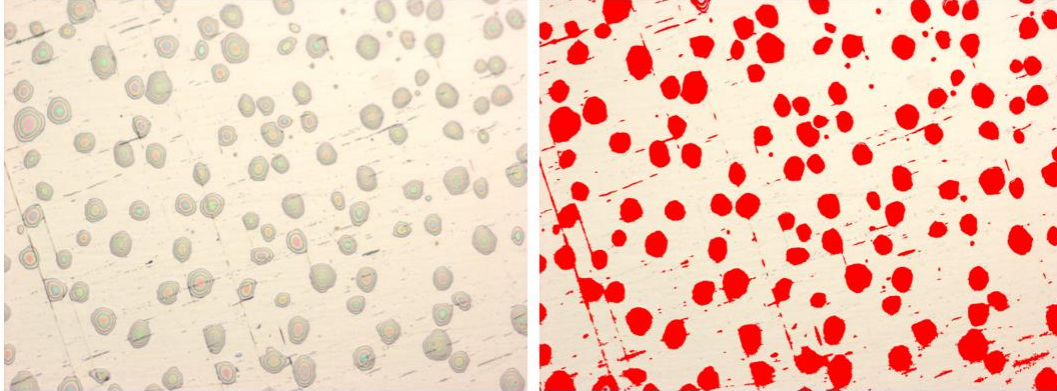


Fig. 5.41 Analiza la zoom x200 a). originală b). Prelucrată

În figurile următoare (fig. 5.42a - c) este prezentat efectul dispersiei cauzat de trei tipuri de particule, din primul exemplu din această secțiune: particulă mică (23.32  $\mu\text{m}$ ), valoarea medie a particulelor (199  $\mu\text{m}$ ) și particulă mare (2299.35  $\mu\text{m}$ ), aceasta din urmă putând fi considerată particulă de ploaie. Este analizată intensitatea de dispersie,  $S(\theta)$ , la diferite unghiuri de incidentă,  $\theta$ .

Din graficele prezentate în figura 5.42 se poate observa că odată cu creșterea dimensiunii particulelor, intensitatea dispersiei scade iar scăderea devine și mai puternică odată cu creșterea unghiului de împrăștiere. Acest lucru confirmă teoria conform căreia un mediu compus din particule mai mici și densitate ridicată are un impact mai puternic asupra fasciculelor de lumină, dar și asupra vizibilității, în comparație cu particulele mai mari. Acest lucru este confirmat și în mediu real, efectul ceții fiind mult mai dăunător asupra vizibilității și a fasciculelor de lumină comparativ cu ploaia. Pentru toate cele trei cazuri prezentate mai sus, dispersia spre înainte este predominantă (unghiuri mai mici); aceste rezultate sunt conforme cu teoria de dispersie a lui Mie, pentru particule mult mai mari decât lungimea de undă a luminii incidente, prezentată în secțiunea 4.6.

Pentru a putea determina matematic efectul extincției luminii se va investiga separat fenomenul de absorbție. Dispersia înseamnă, de fapt, schimbarea direcției de transmitere a fotonului incident, dar fără nicio schimbare în energia fotonului sau a particulei. Pe de altă parte, absorbția înseamnă că partea din energia fotonului este transferată particulei. Aici impactul mărimii particulelor este diferit față de dispersie, secțiunea transversală de absorbție este proporțională cu aria proiectată a particulei. Desigur, pe lângă dimensiune, forma și compoziția particulelor influențează nivelul de absorbție. Ceea ce a fost prezentat anterior în această secțiune se referă la dispersia și absorbția cauzate de o singură particulă, dar în mediul real avem de-a face cu colecții de foarte multe particule. În interiorul unui nor de ceață există o dinamică continuă, particulele fuzionează, ceea ce poate duce la schimbarea coeficientului lor de absorbție [111]. Extincția este în principiu compusă din dispersie și atenuare (vezi secțiunea 4) ținând cont de toți parametrii particulelor menționate anterior.

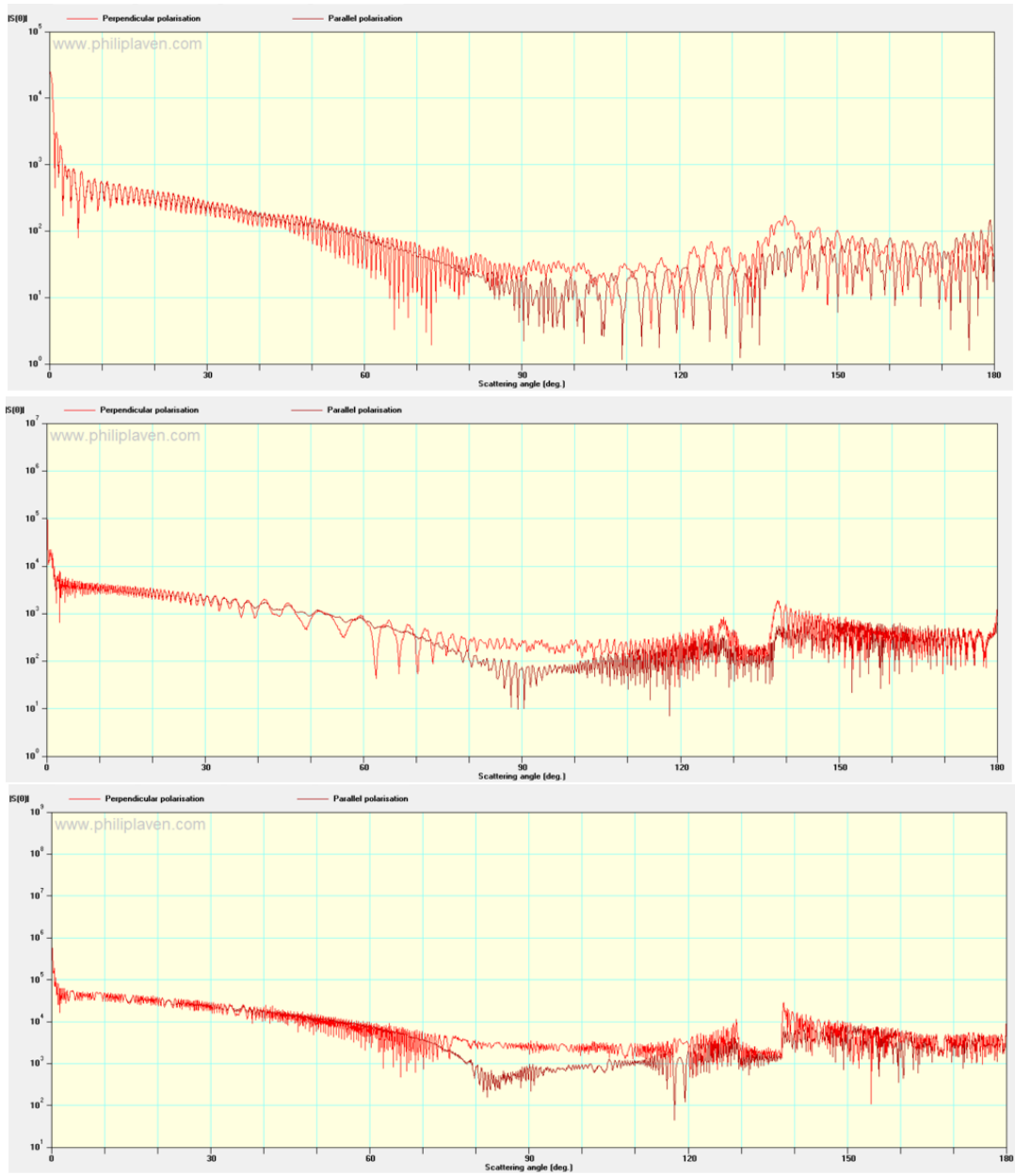


Fig. 5.42 Intensitatea de dispersie la diferite unghiuri de incidentă pentru diferite mărimi ale particulelor de ceață: a). mică b). Valoarea medie c). mare

Modul ales pentru investigarea efectului particulelor de ceață asupra fascicului laser este bazat pe secțiuni extrase din fasciculul de lumină, cu grosimea acestora egală cu diametrul particulelor (se va utiliza valoarea medie, ținând cont de afirmația că secțiunea transversală de absorbție este proporțională cu aria proiectată a particulei [111]) și se va aproxima efectul unei secțiuni asupra luminii incidente; ulterior acesta se va extrapola la întreg fasciculul laser.

Am presupus diametrul fascicului laser ca fiind  $D_{\text{laser}} = 1\text{mm}$ , ceea ce va duce la o arie de  $A_{\text{laser}} = 0.785\text{ mm}^2$  care intră în contact cu particulele de ceață. Dacă se consideră valorile prezentate în primul exemplu din această subcapitol și se extrapolează la aria calculată va rezulta un număr de 778 de particule per secțiune; mergând mai departe cu analiza, se va trata această suprafață ca o secțiune din fasciculul laser, cu grosimea secțiunii egală cu dimensiunea medie a particulei ( $199\text{ }\mu\text{m}$ ), cum este prezentat în figura 5.43; în acest caz volumul unei astfel de secțiuni este de  $V_{\text{sect}}=0.156\text{ mm}^3$ . Lungimea totală a fascicului ce se dorește a fi analizat este de  $3000\text{mm}$ , această limitare fiind dată de lungimea modelului experimental, ceea ce duce la un număr de 15075 de secțiuni și rezultă într-un volum total de  $V_{\text{beam}} = 2352\text{ mm}^3$ .

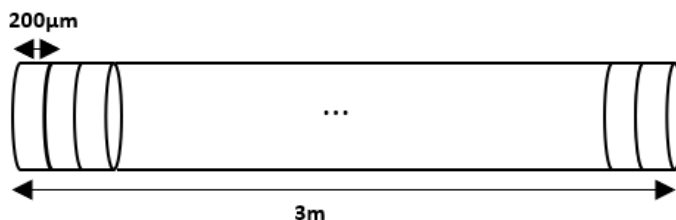


Fig. 5.43 Impactul fiecărei secțiuni asupra fascicului laser

Pentru a crea o legătură între impactul particulelor asupra luminii incidente și acuitatea vizuală, se va folosi prima valoare a densității ceții (sau LWC – liquid water content, cantității de lichid din norul de ceață) utilizată și în experimentele din subcapitolele 5.4.2.1 – 5.4.2.2 și anume  $0.87\text{ g/m}^3$ ; această densitate a ceții are ca și efect inițial o reducere de 78% a puterii optice după parcurgerea norului de ceață (de 3 metrii) și o scădere a acuității vizuale la cel de-al patrulea rând de pe tabela cu optotipuri. Folosind aceste date se poate determina o masă de  $2048 * 10^{-9}\text{g}$  particule de ceață pe întreg volumul fascicului laser. Revenind acum la nivel de secțiune, se poate determina o masă de  $135.85 * 10^{-12}\text{g}$  particule per secțiune, ceea ce duce la o valoare de  $0.17\text{pg}$  (pico grame) masa unei particule medii.

Legat de absorbția intensității cauzată de fiecare secțiune (se va considera în acest caz prima secțiune), se poate folosi legea Beer-Lambert:

$$I_{S1} = I_0 * e^{(-a*t)} \quad (5.4)$$

unde  $I_0$  este intensitatea luminii incidente,  $a$  este coeficientul de absorbție și  $t$  este grosimea secțiunii.

$$\ln(I_{S1}/I_0) = -a * t \quad (5.5)$$

$$\alpha = -\ln(I/I_0)/t \quad (5.6)$$

Dar intensitatea la ieșire, după parcurgerea unei secțiuni ( $I_{S1}$ ) nu este cunoscută; există însă informații legate de atenuarea generală cauzată de absorbție și împrăștiere, deci se poate calcula coeficientul de atenuare ( $\mu$ ) folosind aceeași formulă, dar pentru întreg fasciculul laser ( $x = 3 \cdot 10^6 \mu\text{m}$ ) de această dată:

$$\mu = -(\ln(I_{\text{out}}/I_0))/x \rightarrow \mu = 0.4 \cdot 10^{-6} \quad (5.7)$$

Pe baza acestor informații se poate determina un coeficient de absorbție per secțiune:

$$\alpha = \mu / 15075 = 0.265 \cdot 10^{-12} \quad (5.8)$$

Mai departe s-a dorit crearea unei legături între rezultatele matematice obținute în acest subcapitol cu cele experimentale din subcapitolul 5.4.2.1 (fig. 5.30 – 5.37); în continuare se va trata un caz specific și anume momentul în care cel de-al cincilea rând de optotipuri devine vizibil (după generarea a diferite cantități de ceață), acesta fiind considerat cerința minimă de vizibilitate (în evaluarea acuității vizuale) pentru a putea conduce pe drumurile publice, conform reglementărilor europene (vezi secțiunea 2.1.4). Astfel pentru fiecare densitate de ceață luată în considerare în experimentele din subcapitolul 5.4.2.1, s-a calculat coeficientul total de atenuare ( $\mu$ ) și un coeficient mediu de atenuare a unei secțiuni ( $\alpha$ ) din fasciculul laser (de grosime egală cu dimensiunea media a unei particule de ceață), la momentul la care al cincilea rând din tabela cu optotipuri a devenit vizibil. Acest lucru demonstrează că, în ciuda faptului că în momentul initial, când ceața a fost generată, masa particulelor de ceață din volumul fasciculului laser a fost diferită, după un anumit timp  $t$ , mediul cețos devine similar pentru fiecare densitate de ceață (tab. 12), iar aceasta se datorează coliziunii particulelor (mișcare browniană, turbulență și gravitație). Pe baza tuturor acestor date, se propune un model de identificare a atenuării puterii optice la o distanță specifică, prin extrapolarea valorilor obținute în laborator pentru o distanță de trei metri, la distanțe mult mai mari. Coeficientul total de atenuare la o distanță specifică  $x$  ( $\mu_x$ ) poate fi calculat prin înmulțirea coeficientului mediu de atenuare al unei secțiuni din fascicul ( $\alpha_m$ , care poate fi considerat  $0,3 \cdot 10^{-12}$ ) cu numărul de secțiuni raportat la distanța de observare dorită (calculată ca  $x / d_{mp} - d_{mp}$  este diametrul mediu al unei particule de ceață,  $199 \mu\text{m}$  pentru ceața generată în laborator). Mergând mai departe, se poate estima distanța de vizibilitate, pe baza teoriei proiectării unei diagrame oculare (tabel cu optotipuri) - distanța de observare trebuie să fie de 68,75 ori mai mare decât cel mai mare optotip din diagramă. Așa cum s-a menționat anterior, ținta ar fi cel de-al cincilea rând, acesta fiind de cinci ori mai mic decât cel mai mare optotip din grafic; acest lucru conduce la afirmație, cum că distanța de observare este de 13,75 ori mai mare decât obiectul care urmează să fie observant (de exemplu, semnele rutiere, acestea având dimensiuni standard) pentru cazul în care se disting inclusiv detaliile acestui obiect, respective 68.75 ori mai mare pentru o observare mai puțin clara a unui astfel de obiect.

Principiile menționate mai sus și sumarizate în tabelul 12 sunt foarte utile pentru proiectarea unui sistem staționar, instalat în apropierea unei autostrăzi sau a unui drum expres, cunoscând distanța dintre echipamente și având ca obiective identificarea

condițiilor meteorologice nefavorabile, estimarea unei distanțe de vizibilitate și notificarea conducătorii auto (vezi fig. 5.53). Mai apoi aceste principii pot fi utilizate chiar și în proiectarea unui sistem mobil de detectare a ceții și estimare a distanței de vizibilitate.

Tab. 12 Estimarea acuității vizuale pe baza coeficientului de atenuare

Cantitate ceața generată [g/m <sup>3</sup> ]	Masa particule ceața în fascicul [g]	Timp scurs, t [min:sec]	Acuitate vizuală	Coeficient total de atenuare, $\mu$	Coeficient de atenuare per secțiune, $\alpha$	Extrapolare distanță la o valoare specifică, x	Extrapolare a acuității vizuale la o distanță, x
0.87	2048*10 <sup>-9</sup>	00:50	R5	0.418*10 <sup>-6</sup>	0.277*10 <sup>-12</sup>	$\mu_x = \alpha_m * (x / d_{mp})$	x = 13.75 *dim. obiect
1.74	4097*10 <sup>-9</sup>	12:06		0.462*10 <sup>-6</sup>	0.306*10 <sup>-12</sup>		
2.6	6132*10 <sup>-9</sup>	23:10		0.513*10 <sup>-6</sup>	0.340*10 <sup>-12</sup>		
3.47	8171*10 <sup>-9</sup>	25:15		0.513*10 <sup>-6</sup>	0.340*10 <sup>-12</sup>		

În cele ce urmează se vor prezenta două exemple pe baza modelului prezentat anterior, folosind rezultatele din Tabelul 12:

- Dimensiunea unui indicator rutier este de 70cm, astfel la o atenuare de aproximativ 70% din puterea optică de intrare măsurată după trecerea norului de ceață (fig. 5.30), acesta este vizibil de la o distanță de aproximativ 50 de metri (luând în calcul cel mai mare optotip în această determinare) în timp ce de la o distanță de aproximativ 10 metri, pot fi distinse inclusive micile detalii de către o persoană cu acuitate vizuală normală (luând în calcul cel de-al cincilea rând de optotipuri).

- Un pieton de 1,7 metri înălțime, în aceleași condiții de ceață descrise mai sus, este vizibil de la o distanță de aproximativ 115 metri, iar detalii se pot distinge de la aproximativ 23 de metri.

Pe baza acestei distanțe (estimată utilizând măsurători optice de putere și aplicând niște algoritmi matematici) și luând în considerare tipul vehiculului, se poate recomanda o viteză de deplasare în condiții de siguranță. Desigur, rezultatele oferite de sistemul staționar vor fi comparate cu cele oferite de sistemele mobile iar ulterior sistemul vehiculului poate lua o decizie.

#### 5.4.2.4 Eliminarea ceții din imagini și detecția de obiecte

În precedentele trei subcapitole a fost tratat efectul (dinamic) ceții asupra vizibilității (prin analiza puterii oprice și a acuității vizuale) și s-au extras secțiuni din mediul cețos pentru o analiză mai profundă a impactului cauzat de diferite tipuri de ceață. În această secțiune se va discuta despre imagini cețoase și îmbunătățirea vizibilității în astfel de imagini, care pot fi considerate abordări staționare, ale corectării efectului produs de ceață; se va aborda o postprocesare a acestor imagini captate în condiții de ceață pentru a îmbunătăți vizibilitatea. Pentru aceasta s-a creat un model experimental, sau altfel spus i s-au adus îmbunătățiri celui prezentat în secțiunile precedente, îmbunătățiri prin care s-a dorit simularea unei scene de trafic reale, prin redimensionarea tuturor obiectelor din scenă (marcaje rutiere, vehicule și pietoni) la o scară 1:17.5. Astfel pentru dimensiunea de trei metri a „tunelui” se vor putea investiga distanțe de până la



52.5 metri. Drumul cu marcajele rutiere care separă cele două direcții de mișcare și marcajele de trecere a pietonilor au fost realizate din carton bituminos, amplasat pe partea inferioară a modelului experimental (fig. 5.44). Implementarea procesării imaginilor s-a făcut în Matlab și a fost rulată pe un laptop cu procesor i5-6300u 2.40 GHz, 8 GB RAM.

În capitolul 3, referitor la metode publicate în literatura de specialitate, au fost prezentate o serie de abordări, cum ar fi legea lui Koschmieder sau metoda „Dark channel Prior”, cea din urmă fiind testată și în modelul experimental prezentat în subcapitolul anterior (5.4.1). Pe parcursul experimentelor s-au mai încercat diverse metode de îmbunătățire a vizibilității (reducerea zgomotului prin aplicarea filtrelor median și bilateral, separarea spațiului culorilor, luminozitatea imaginii și modificarea contrastului), dar s-a ajuns la concluzia că dintre toate acestea metoda de egalizare a histogramelor (histogram equalization – HE) oferă cele mai bune rezultate, fiind aleasă pentru comparație cu metoda „Dark Channel Prior”; desigur, mai există metode bazate pe învățarea automată („machine learning”) sau inteligență artificială („artificial intelligence”), ce oferă rezultate bune însă aceste metode consumă multe resurse și timp.

Prima metoda aplicată pentru eliminarea ceții dintr-o imagine, „Dark Channel Prior”, este o metodă statistică bazată pe imagini fără ceață captate în mediul exterior. Această metodă se bazează pe faptul că în majoritatea regiunilor locale care nu conțin fundal atmosferic (cerul), este foarte probabil ca o parte din pixeli să aibă o intensitate foarte mică în cel puțin un canal de culoare (RGB). În imaginea cu ceață, intensitatea acestor pixeli întunecați din canalul menționat este în principal dată de lumina atmosferică (airlight). Prin urmare, acești pixeli întunecați pot furniza în mod direct o estimare precisă a opacității din imagine.



Fig. 5.44 Imaginea fără ceață: a) originală; b) ceață eliminată; c) rafinată

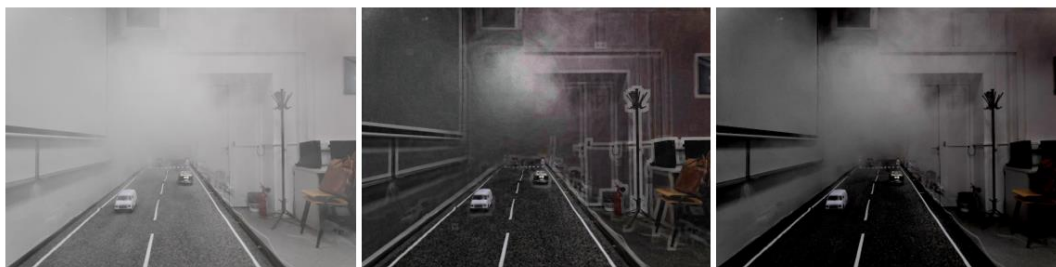


Fig. 5.45 Imaginea cu ceață scăzută: a) originală; b) ceață eliminată; c) rafinată

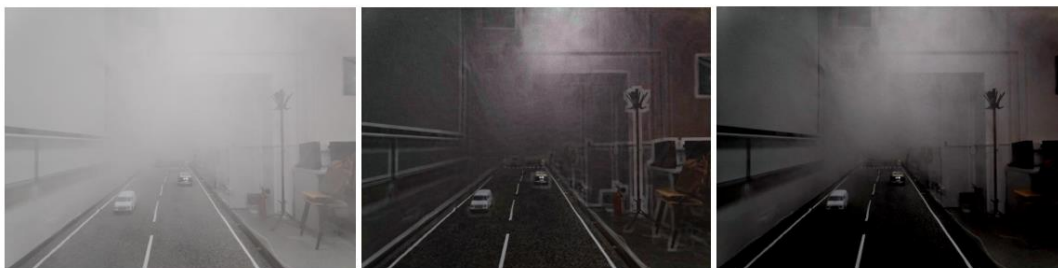


Fig. 5.46 Imaginea cu ceață medie: a) originală; b) ceață eliminată; c) rafinată



Fig. 5.47 Imaginea cu ceață densă: a) originală; b) ceață eliminată; c) rafinată

O imagine ceațoasă este o imagine cu contrast redus și culori nesaturate, scena fiind neclară și obiectele nefiind bine definite. Pentru a testa eficiența metodei de a elimina ceață din imagini, s-au considerat diferite niveluri de ceață, plecând de la o imagine fără ceață și până la o imagine cu ceață foarte densă (fig. 5.44 - 5.47 a), imagini captate în modelul experimental din laborator; pentru acest experiment au fost reproduse condițiile de ceață din subcapitolele anterioare (5.4.2.1 - 5.4.2.3), pentru a crea o legătură între toate aceste experimente; astfel am considerat nivelul scăzut de ceață la  $0.87\text{g/m}^3$ , nivelul mediu de ceață la  $1.74\text{g/m}^3$  și ceață densă la  $3.47\text{g/m}^3$ .

Pentru procesarea de imagini s-a folosit MATLAB 2019 împreună cu implemanterea bazată pe articolul/lucrarea [66], disponibilă în MathWork<sup>6</sup>. Procesarea s-a executat în doi pași, primul în care se aplică metoda „Dark Channel Prior” pentru a elimina ceața din imagini și pasul doi de rafinare a imaginilor prelucrate anterior. Algoritmul dovedește o bună eficiență în eliminarea ceții, imaginile fiind îmbunătățite și prin creșterea contrastului și saturarea culorilor (fig. 5.44 – 5.47 c). Cu toate acestea, se poate observa faptul că pentru densități ridicate de ceață (fig. 5.47), algoritmul nu oferă rezultate satisfăcătoare, obiectele din depărtare nefiind vizibile nici după eliminarea ceții.

Cea de-a doua metodă utilizată pentru a elimina ceața din imagine, este metoda de egalizare a histogramelor (HE). Histograma este o reprezentare grafică a distribuției intensităților imaginii; în cazul unei imagini cu ceață, valorile intensităților cele mai frecvente sunt adunate într-o anumită zonă (fig. 5.49 dreapta-jos). Experimentul a fost început analizând histograma unei imagini fără ceață ca apoi nivelul de ceață să fie crescut

<sup>6</sup> <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46147-single-image-haze-removal-using-dark-channel-prior>



până la ceață densă. În figura 5.48 pot fi observate imaginile originale în diferite condiții de ceață: fără ceață, ceață scăzută, ceață medie și ceață densă.

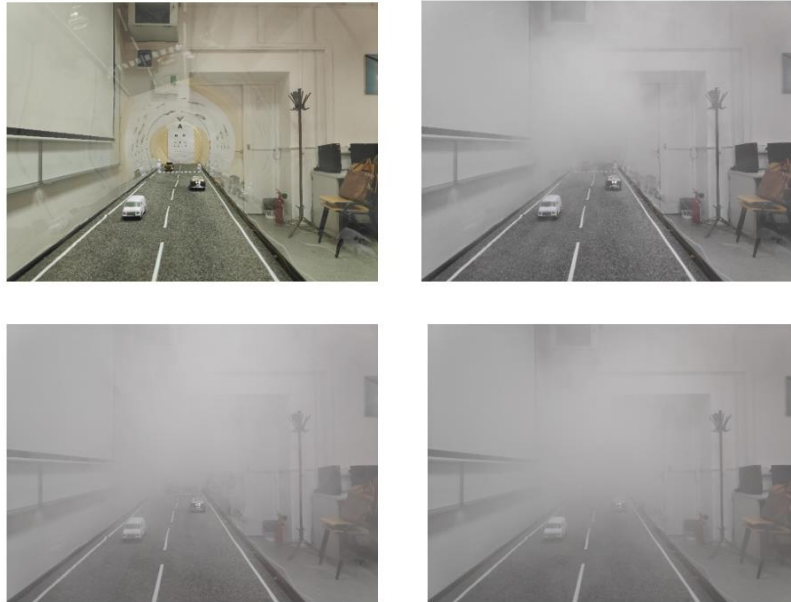


Fig. 5.48 Imagini originale, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă

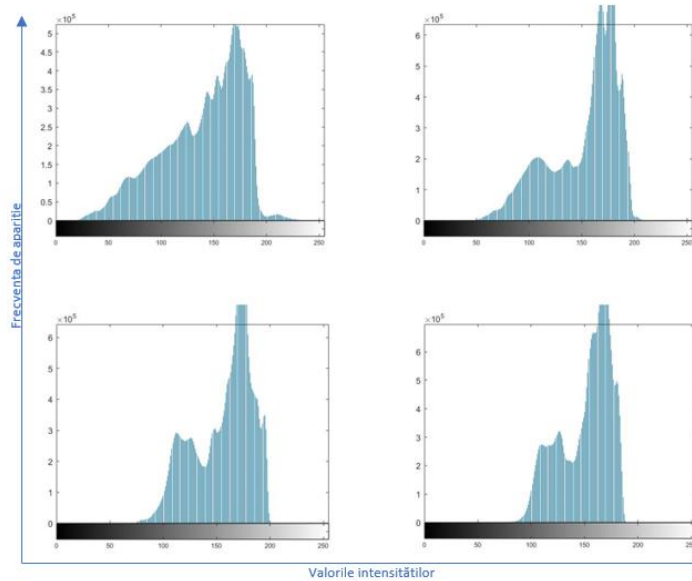


Fig. 5.49 Histogramele imaginilor originale, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă

Pentru cele patru imagini originale s-au generat histogramele pentru a observa transformarea distribuției pixelilor atunci când cantitatea de ceață a fost crescută. În figura 5.49 stânga-sus, se află histograma imaginii originale fără ceață; după cum se poate observa aceasta este răspândită pe aproape întregul interval al valorilor. Cu cât nivelul de ceață din interiorul încăperii a fost crescut, cu atât mai îngustă a devenit histograma imaginilor. Așa cum se poate observa în figura 5.49 dreapta-jos, valorile intensităților imaginii cu ceață densă sunt adunate într-un interval de aproximativ 100 de valori (între 80 și 180), cu vârful centrat în jurul a 40 de valori (între 140 și 180). Aplicând metoda de egalizare a histogrammei, aceste valori (adunate inițial într-o zonă specifică) sunt răspândite pe întreaga gamă de valori (0-255) așa cum se poate observa în figura 5.50 (unde sunt prezentate histogrammele celor patru imagini după ce s-a aplicat egalizarea histogrammei), îmbunătățind astfel contrastul global de imagine.

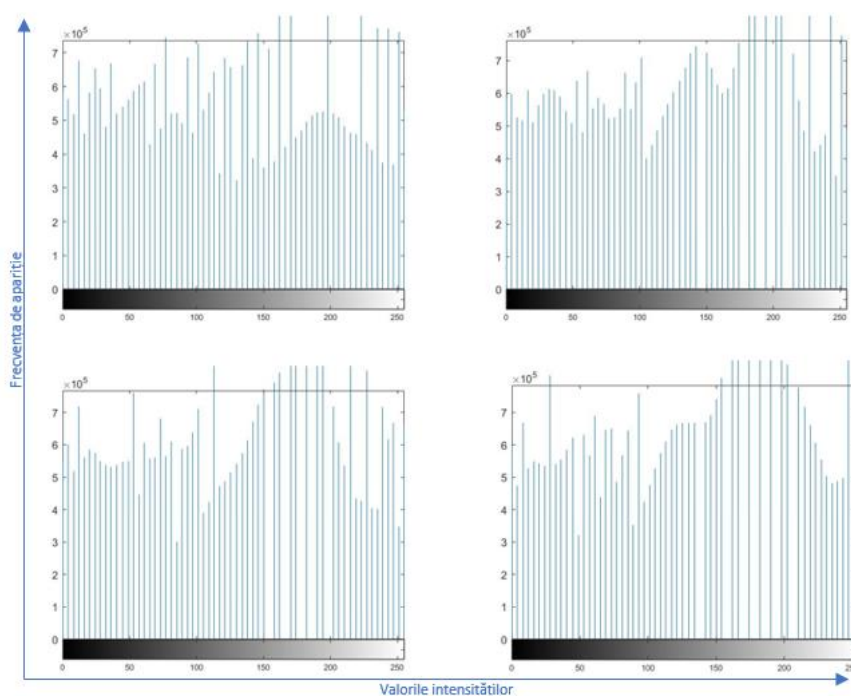


Fig. 5.50 Histogrammele imaginilor după aplicarea HE, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă

În figura 5.51 sunt prezentate cele patru imagini după egalizarea histogrammei. Un impact este vizibil și în imaginea fără ceață, unde culorile au devenit mai strălucitoare în comparație cu cea inițială. Pentru toate cele trei imagini cu ceață, se poate observa că vizibilitatea este îmbunătățită, marcajele rutiere și vehiculele sunt mai ușor vizibile ca urmare a îmbunătățirii contrastului.

La fel ca în cazul metodei „Dark Channel Prior”, și în cazul metodei de egalizare a histogrammei imaginea este îmbunătățită, o parte din ceață este eliminată din imagini vizibilitatea fiind astfel îmbunătățită; pentru prima metodă analizată, contrastul este mai crescut în schimb luminozitatea globală a imaginii a avut de suferit; ce-a de a doua metodă a introdus mai mult zgomot în imaginea finală. Pentru niveluri ridicate ale densității ceții, ambele metode dovedesc probleme în eliminarea acesteia din imagini, obiectele din depărtare fiind greu de identificat.

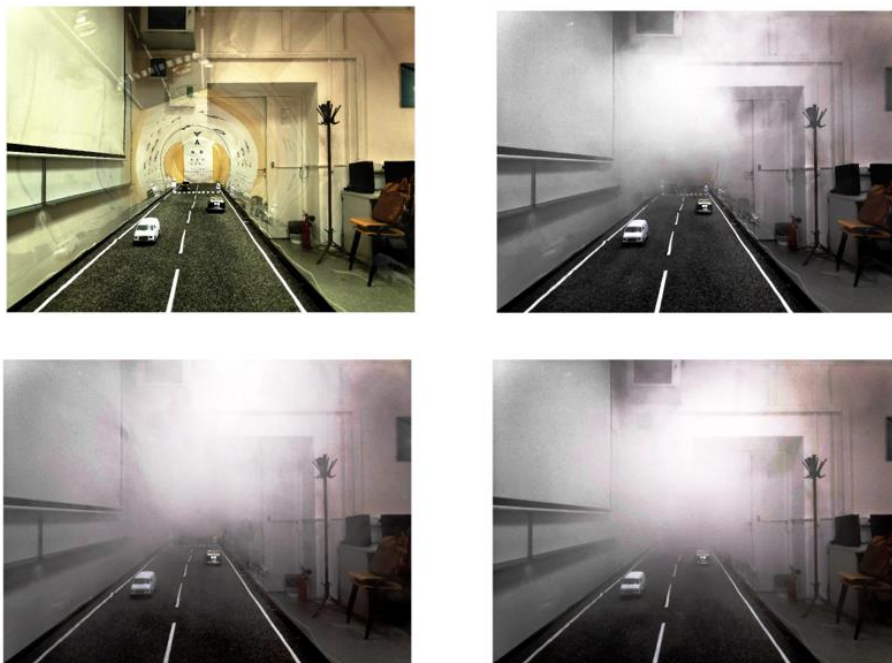


Fig. 5.51 Imagini după aplicarea HE, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă

Mergând mai departe, după îmbunătățirea vizibilității într-o imagine cu ceață, următorul obiectiv a fost detectarea obiectelor dintr-o astfel de imagine. Pentru aceasta s-a aplicat metoda Canny pentru detectarea muchilor din imagini (figura 5.52). Algoritmul implementat pentru detectarea muchilor constă în doi pași:

- binarizarea imaginii pentru a transforma matricea tridimensională (imaginea RGB) într-una bidimensională; acesta este un pas de pregătire pentru algoritmul de detectare a marginilor;
- detectarea muchiilor prin aplicarea metodei Canny, pentru identificarea obiectelor din imagine;

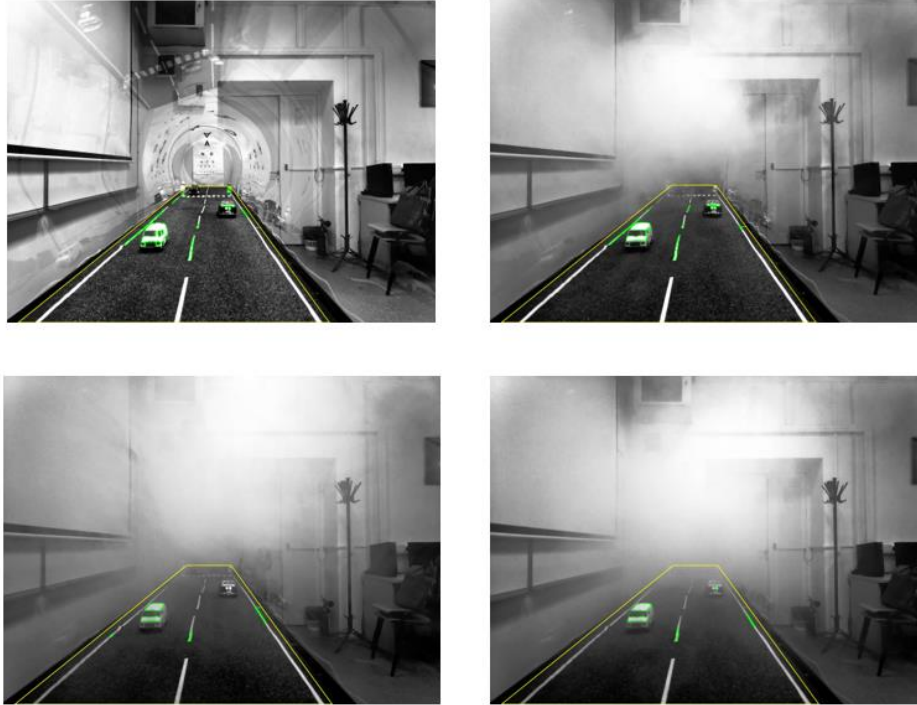


Fig. 5.52 Imaginile după aplicarea filtrului Canny și detectarea obiectelor din imagine, începând cu cazul fără ceață până la ceață densă

În imaginile din figura 5.52 s-au marcat în contur verde obiectele și marcajele rutiere identificate de algoritmul, iar în contur galben distanța de vizibilitate în diferitele condiții de ceață. În imaginea din stânga-sus, fără ceață, toate obiectele de interes sunt vizibile – vehicule, pietoni, marcaje rutiere; vizibilitatea în acest prim caz este distanța maximă evaluată, 3 metri extrapolați la 52.5 metri, utilizând o scară de 1:17:5. Pentru imaginile cu ceață algoritmul detectează obiectele din apropiere dar are dificultăți în identificarea celor îndepărtate (exemplu pietonii, în toate cele trei imagini cu ceață). Vizibilitatea este de asemenea redusă considerabil în ultima imagine (dreapta-jos), cu ceață densă, fiind de aproximativ 30 de metri.

#### 5.4.2.5 Concluzii parțiale și contribuții

În această subcapitol s-au îndeplinit două dintre cele trei obiective stabilite pentru această cercetare și anume:

(i) realizarea unui model experimental, în laborator, care să permită studiul și experimentele, în condiții de repetabilitate, a tehnicilor și metodelor (existente și noi propuse de autor) pentru estimarea vizibilității în condiții de ceață;

Legat de acest obiectiv, în acest subcapitol s-a propus un model experimental care permite evaluarea diferitelor metode de estimare a distanței în condiții meteorologice nefavorabile (ceață, fum etc.). Demonstratorul propus se bazează pe diferite experimente și metode aplicate de autor, ale căror rezultate au fost publicate/prezentate la diferite sesiuni științifice; pe lângă acestea, sunt considerate mai multe metode publicate în literatura de specialitate cu scopul de a decide care este cea mai potrivită pentru un sistem ce urmează a fi folosit pe drumurile publice. Validarea rezultatelor măsurătorilor se poate face prin compararea lor cu acuitatea vizuală umană determinată cu ajutorul unei tablele cu optotipuri în aceleași condiții de ceață. În acest fel se realizează legătura dintre acuitatea vizuală determinată de oftalmologi - cu o tabelă cu optotipuri - și distanța de vizibilitate medie estimată.

*(ii) elaborarea unei soluții practice - prin care conducătorii auto, ori autovehiculele autonome sunt informați de condițiile de vizibilitate care să conducă la creșterea siguranței traficului rutier;*

Legat de acest obiectiv, s-au testat și s-au analizat următoarele metode:

- Analiza influenței ceții asupra puterii optice a diferitelor surse de lumină (LED, Laser) și corelarea cu acuitatea vizuală – în acest experiment s-a reușit realizarea unei analogii între puterea electrică injectată într-o sursă optică și influența ceții asupra aceleși surse optice. S-a demonstrat de asemenea faptul că ceața nu influențează lumina laser (la o lungime de undă de 650nm în experimentul de față) la fel de mult cum o face în cazul luminii LED-ului.
- Analiza influenței ceții asupra unui fascicul laser (transmisie directă) și corelarea cu acuitatea vizuală (modelul experimental de 300 cm) – în cadrul acestui experiment s-au generat diferite densități de ceață în care s-a analizat impactul acesteia asupra sursei de lumină și asupra acuității vizuale; s-au prezentat nivelurile / densitățile de ceață la care condusul pe drumurile publice nu mai este recomandat sau este strict interzis; s-a concluzionat faptul că vizibilitatea este mai puternic impactată atunci când există o densitate mai mare de particule de dimensiuni mai mici, din cauza mișcării lor în mediu; datorită mișcării browniene, turbulenței și gravitației are loc coliziunea dintre particule ceea ce duce la o îmbunătățire a vizibilității respective, o reducere a impactului ceții asupra sursei de lumină.
- Analiza influenței ceții asupra unor dispozitive bazate pe dispersia retrogradă – Telemetru și Lidar (modelul experimental de 300 cm) - telemetrul oferă rezultate corecte până la o anumită densitate a ceții, moment în care nu mai este capabil să ofere niciun rezultat returnând în acest caz eroare, în timp ce măsurătorile lidarului sunt impactate de particulele de ceață din primele momente în care acestea apar în încăperea, dar este totuși capabil să ofere rezultate la densități foarte mari ale ceții, distanțele indicate de dispozitiv scăzând pe măsură ce densitatea ceții crește. Unul dintre motive ar fi lungimea de undă pe care funcționează cele două dispozitive (632nm vs 905nm); lidarul pare potrivit spre a fi utilizat într-un sistem mai complex de detecție a ceții.
- Influența dimensiunilor particulelor de ceață asupra surselor de lumină și a vizibilității – cu ajutorul unui microscop s-au analizat particulele de ceață generate, din mai multe puncte de vedere, cum ar fi: aria fiecărei particule, factorul de formă („shape factor”), raportul de aspect („aspect ratio”), dar și încadrarea particulelor în diferite clase în funcție de caracteristicile descrise mai sus; pasul următor a fost acela de a

determina matematic influența dispersiei și absorbției particulelor asupra fasciculului laser, folosind metoda dispersie Mie.

- Eliminarea ceții din imagini aplicând diferiți algoritmi de procesare de imagini – s-a creat un model experimental, sau altfel spus i s-au adus îmbunătățiri celui prezentat în secțiunile precedente, îmbunătățiri prin care s-a dorit simularea unei scene de trafic reale, prin redimensionarea tuturor obiectelor din scenă (marcaje rutiere, vehicule și pietoni) la o scară 1:17.5; în acest model s-au creat diferite condiții de ceață, monitorizate cu ajutorul unei camera, iar apoi s-a încercat eliminarea ceții din imagini utilizând mai mulți algoritmi de prelucrare de imagini; cele mai bune rezultate, dintre metodele testate, le-a înregistrat metoda "Dark Channel Prior".

Rezultatele obținute după aceste experimente deschid calea realizării unei legături între densitatea ceții, dispersia puterii optice și acuitatea vizuală. Având o legătură între aceste date, va fi posibilă dezvoltarea unui sistem inteligent de estimare a vizibilității mai potrivit pentru o ființa umană dar și pentru un vehicul autonom.

## **5.5 Nou sistem pentru creșterea siguranței auto în condiții de ceață**

Vizibilitatea este un aspect critic pentru transport, iar ceața este unul dintre cei mai mari inamici pentru vizibilitatea pe drumurile publice. Din păcate, această problemă nu este rezolvată nici de vehiculele autonome; o altă tendință inovatoare a industriei auto, în afară de vehiculul autonom, este conectivitatea prin deja binecunoscutele concepte V2V (vehicle-to-vehicle) sau V2X (vehicle-to-infrastructure), dar chiar și cu aceste concepte vizibilitatea proastă cauzată de condițiile meteorologice extreme poate provoca victime (spre exemplu pietonii nedetecțai de sistem, marcaje rutiere sau semne de circulație ratate / neobservate, vehiculele ce nu fac parte din rețea, sau alte obiecte neobservate de pe drumurile publice etc.).

Obiectivul acestor experimente a fost de a prezenta un sistem fiabil, care poate fi utilizat pe drumurile publice pentru a ajuta șoferii sau sistemul autonom în condiții meteorologice nefavorabile. S-a reușit realizarea unui model experimental în care s-au testat diferite metode de îmbunătățire a vizibilității sau de detectare a ceții (și estimare a vizibilității); marele plus al acestui model experimental este faptul că testarea s-a putut realiza în condiții similare și repetabile. Acest lucru a oferit un mare avantaj în înțelegerea efectului de ceață, deoarece în condiții reale este greu sau aproape imposibil repetarea unor condiții de ceață pentru a putea valida rezultatele. Mai departe s-au comparat rezultatele obținute de sistemele automate cu rezultatele obținute de observatorii umani și s-a ajuns la concluzia că pot fi în aceeași gamă; au apărut diferențe doar pentru observatorii cu probleme / boli cunoscute de vedere.

Propunerea de sistem pentru estimarea vizibilității, rezultată în urma consultării publicațiilor în domeniu și propriei analize experimentale, constă dintr-o combinație de senzori – unul staționar, montat în apropierea drumurilor publice, care să estimeze vizibilitatea prin măsurători optice și camere video - și o camera video împreună cu un lidar, instalate pe vehicule. Sincronizarea acestor sisteme ar duce la creșterea siguranței pe drumurile publice în condiții meteo nefavorabile. Sistemul staționar va măsura

densitatea ceții ținând cont de nivelul reducerii puterii optice, iar pe baza acestei informații va putea estima o distanță de vizibilitate; de asemenea camerele video din sistemul staționar pot face o detecție a vizibilității pe baza dispersiei fascicului în ceață (subcapitolele 5.1 – 5.2); după o sincronizare între aceste două sisteme, rezultate vor fi transmise către vehicule. Camera video, aflată la bordul mașinii, va detecta semnele de circulație, marcajele rutiere, pietonii sau alți participanți la trafic, în timp ce lidarul va veni în completare prin detecția posibililor obstacole din fața vehiculului, dar va oferi și o estimare a vizibilității - în cazul condițiilor de ceață.

Adunând informațiile de la toți acești senzori, sistemul central al vehiculului poate notifica șoferii despre potențiale pericole, dar poate lua și autonom măsuri precum reducerea vitezei sau frânare a autovehiculului în caz de pericol. În figura 5.53 este prezentată propunerea de sistem descrisă mai sus.

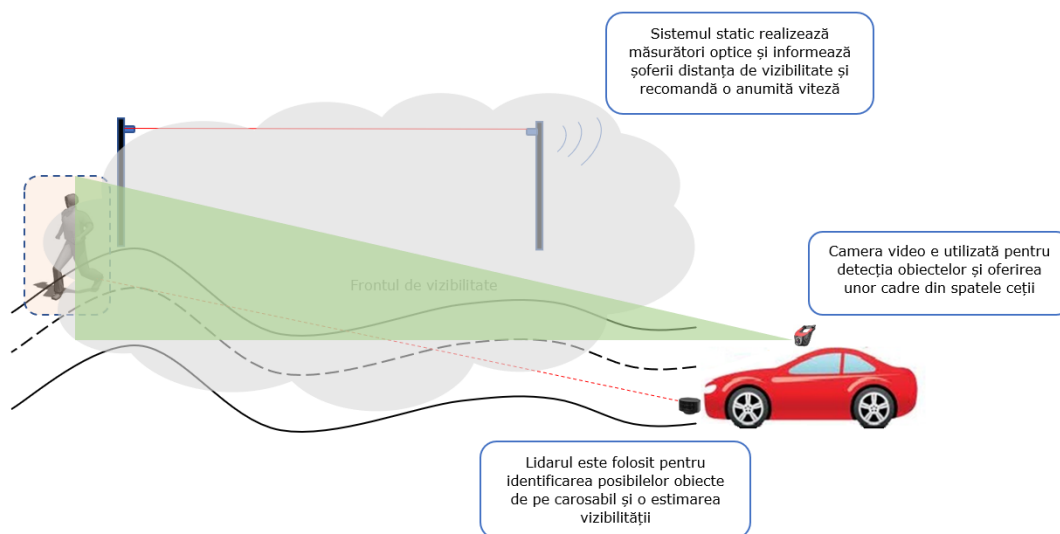


Fig. 5.53 Propunere de sistem pentru creșterea siguranței în trafic în condiții de ceață

În figura 5.54 este prezentată o situație reală de trafic, pe autostradă, fiind evidențiate elementele sistemului ce asigură siguranța în condiții de vizibilitate redusă: transmitătoare și receptoare laser pentru sistemele staționare respectiv lidar și camera pentru cele mobile. În viitorul apropiat vor fi tot mai dese cazurile în care pe drumurile publice vor apărea mașini autonome alături de cele clasice conduse de către șoferi. Astfel acțiunile șoferilor fiind imprevizibile, aceste sisteme vor trebui să aibă un timp de evaluare și reacție extrem de redus pentru a fi capabile să evite posibile accidente.

Validarea sistemului de colaborare în condiții reale necesită autorizații de instalarea pe autostrăzi / drumuri publice iar vehiculele trebuie adaptate pentru colaborarea cu sistemul staționar de evaluare a distanței. Toate acestea necesită costuri



suplimentare și o perioadă destul de lungă de experimentare, condiționată de periodicitatea fenomenului de ceață.

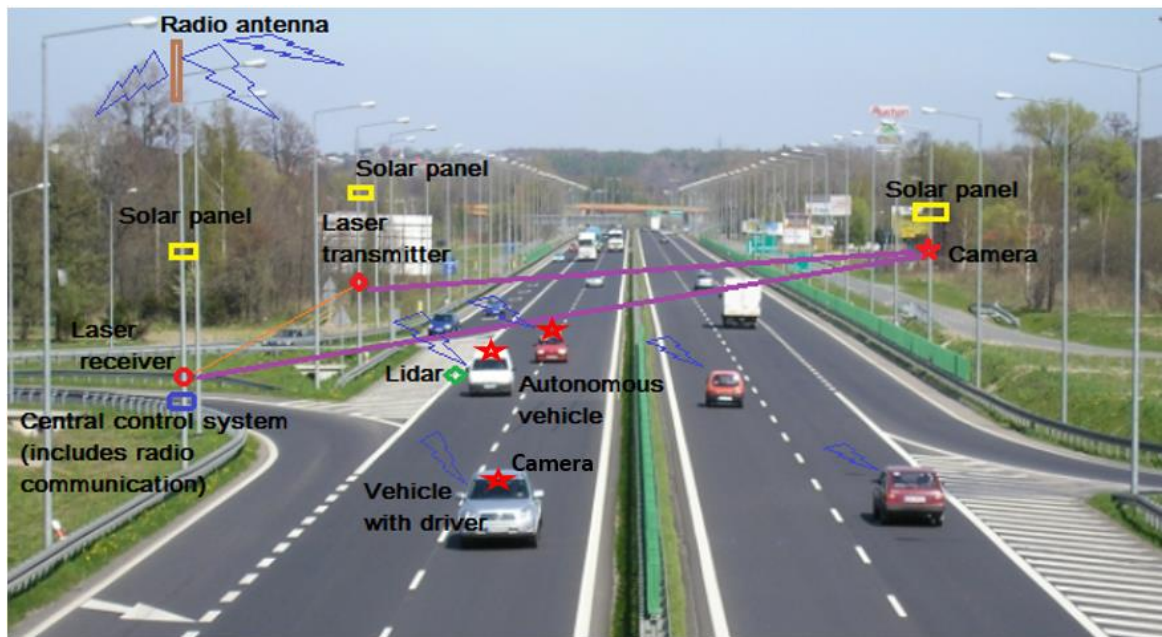


Fig. 5.54 Propunere de sistem pentru creșterea siguranței în trafic în condiții reale de trafic



## 6 ORBIREA CAUZATĂ DE SOARE

Industria auto se dezvoltă continuu, încercând, printre altele, să îmbunătățească siguranța șoferilor, pasagerilor și pietonilor. Vizibilitatea este cea mai importantă cerință pentru conducerea în condiții de siguranță. Indiferent dacă vorbim despre condiții meteorologice nefavorabile (ceață, ploaie, zăpadă) sau fenomenul de orbire cauzat de soare sau de farurile altor participanți la trafic, toate au același rezultat, pericol pentru transportul public. Potrivit Administrației Naționale de Trafic pe Autostrăzi din Statele Unite al Americii, orbirea provoacă mii de accidente în fiecare an [108], fiind considerată a doua cea mai posibilă cauză de accident după drumurile alunecoase. Din cauza razelor soarelui, șoferii nu pot observa semnele de circulație, pietoni, curbe bruște sau alți participanți la trafic. În multe cazuri, acest lucru poate duce la o catastrofă.

În acest capitol se propune îndeplinirea obiectivului trei stabilit în partea introductivă a tezei:

*(iii) evitarea obirii șoferului, datorată strălucirii soarelui, prin introducerea unui sistem de parasolar dinamic;*

Astfel, este propus un sistem capabil să protejeze șoferii împotriva efectului de orbire cauzat de rezele soarelui, foarte avantajos și din punct de vedere al costurilor de implementare, folosind tehnologii existente, care pot fi găsite deja într-o mașină de înaltă performanță. Utilizează un senzor de urmărire a soarelui pentru a detecta punctul în care lumina are intensitatea maximă pe suprafața parbrizului și un sistem de urmărire a ochilor pentru a afla poziția șoferului. Pe baza acestor determinări și prin utilizarea unui head-up display (HUD), este proiectat pe parbriz o „pată” neagră pentru a reduce la minimum puterea luminii exterioare care perturbă șoferul. În funcție de intensitatea luminii și luând în considerare legile privind siguranța traficului, transparența spotului poate varia între anumite limite. Prin urmare, pericolele cauzate de strălucirea orbitoare vor fi diminuate, iar riscurile de a nu observa pietonii, alți participanți la trafic, semnele de circulație sau curbele bruște vor fi considerabil mai mici. Un alt avantaj al utilizării unui parasolar digital în loc de un parasolar clasic, este faptul că întregul parbriz poate fi protejat împotriva strălucirii nu doar partea superioară al acestuia. Rezultatele au fost verificate și evidențiate folosind simulări realizate în mediu MATLAB.

### 6.1 Notiuni introductive

Un progres tehnologic remarcabil a fost realizat în domeniul auto, în toate ariile cum ar fi confortul, siguranța sau fiabilitatea, iar costurile de producție au fost reduse de la an la an. Orice tip de opacitate în vizibilitatea șoferului poate avea un impact negativ asupra traficului pe drumurile publice. Aceste probleme de vizibilitate pot fi cauzate de condițiile meteorologice nefavorabile - condiții de ceață, ploie sau zăpadă - dar și de strălucirea orbitoare a soarelui sau a farurilor altor participanți la trafic.

Referitor la prima categorie, probleme de vizibilitate cauzate de condițiile meteorologice nefavorabile, există câteva abordări care încearcă să le rezolve, prezentate mai pe larg în capitolul 3, dar niciuna dintre ele nu s-a dovedit a fi foarte fiabilă, acesta fiind motivul pentru care nu există încă un astfel de sistem instalat pe vehiculele comerciale. Analizând lucrările publicate în literatura de specialitate, se poate observa că majoritatea metodelor care măsoară distanța de vizibilitate în condiții meteorologice nefavorabile se bazează pe prelucrarea imaginilor și măsurarea puterii optice: măsurarea distanței dintre liniile de marcaj [112], detectarea și analizarea clarității indicatoarelor rutiere [113], [114] sau estimarea distanței de vizibilitate bazată pe evaluarea liniei de intersecție a drumului cu orizontul/cerul [44].

Pentru cea de-a doua categorie, problemele de vizibilitate cauzate de fenomenul de orbire, pare a fi o problema neglijată, lucru ce poate fi ușor observat din lipsa de soluții, chiar dacă strălucirea este unul dintre principalii factori cauzatori de accidente, conform Administrației Naționale de Trafic pe Autostrăzi din Statele Unite al Americii [108]. Orbirea este un factor de disconfort pentru șoferi în timpul condusului, indiferent dacă este cauzată de răsăritul sau apusul soarelui pe timpul zilei sau de farurile altor participanți la trafic pe timpul nopții. Cu toate acestea, numărul accidentelor provocate de strălucirea orbitoare este subevaluat, deoarece în majoritatea cazurilor orbirea nu este singurul factor: orbirea temporară în timpul conducerii împiedică șoferul să observe pietonii, curbe bruște sau semne de circulație care pot duce la un accident. Pentru condițiile de noapte, efectul de orbire este și mai des întâlnit, din cauza farurilor vehiculelor. Potrivit VA Medical Center Cillicothe, Ohio, ochiul unei persoane de vârstă mijlocie are nevoie de aproximativ 10 secunde pentru a se adapta la strălucire. Pe parcursul celor 10 secunde, o mașină poate parcurge aproximativ o jumătate de kilometru.

De departe cea mai cunoscută soluție împotriva strălucirii soarelui este parasolarul, care trebuie să fie manevrat manual de șofer atunci când soarele îl orbitește. Companiile automotivă au început să dezvolte soluții noi pentru rezolvarea acestei probleme, utilizând sticlă inteligentă. În timpul nopții, strălucirea poate fi cauzată de farurile vehiculelor care provin din sens opus; această problemă poate fi parțial rezolvată prin îmbunătățirea tehnologiilor utilizate pentru fabricarea farurilor, precum și prin implicarea marilor companii în dezvoltarea unor noi produse. Prin urmare, folosind tehnologii LED și laser pentru faruri, combinate cu tehnologia de auto-reglare a farurilor (auto-dimming) și o temperatură corespunzătoare a culorii luminii, strălucirea provocată de faruri poate fi redusă.

Scopul acestei cercetări este acela de a prezenta un nou concept de sistem anti-orbire care utilizează în principal sisteme deja disponibile pe vehiculele actuale, cum ar fi head-up display, dispozitivele de urmărire a privirii șoferilor sau senzorii de lumină. Această metodă este extrem de eficientă din punct de vedere al costurilor, deoarece majoritatea schimbărilor sau îmbunătățirilor trebuie efectuate în partea software, ceea ce reprezintă un cost foarte redus comparativ cu noile sisteme care necesită o nouă arhitectură: mecanică, hardware, software. Singurul senzor care trebuie adăugat este un dispozitiv de urmărire solară. Marele avantaj este faptul că odata cu adăugarea senzorului solar, se poate renunța la parasolarele convenționale, echilibrând astfel costurile de producție.

Parasolarul digital, cum a fost denumit sistemul propus, se referă în special la problema orbirii provocată de soare, dar o variantă viitoare poate acoperi și problema

deja menționată, cauzată de strălucirea farurilor. Soluția propusă pentru rezolvarea orbirii temporare este prin realizarea unei proiecții pe parbriz în punctul unde lumina are intensitatea maximă. Astfel, primul pas ar fi determinarea aceluși punct, folosind un senzor de lumină. După aceea, este necesară determinarea poziției exacte a șoferului în mașină, aceasta fiind posibilă cu ajutorul unui sistem de monitorizare a privirii șoferului. Pe baza acestor două informații, sistemul va calcula dacă lumina perturbă șoferul, iar în caz afirmativ, ia decizia de a proiecta o imagine/pată neagră pe parbriz, cu ajutorul head-up display-ului pentru a proteja vizibilitatea șoferului de radiațiile solare dăunătoare.

Restul capitoului este organizat după cum urmează. În subcapitolul următor sunt prezentate câteva abordări anterioare referitoare la protecția împotriva strălucirii orbitoare, apoi este prezentată structura sistemului, împreună cu o scurtă descriere a fiecărui element compozițional. Ulterior, este descrisă funcționalitatea sistemului propus. În ultima secțiune sunt prezentate concluziile și avantajele sistemului propus.

## **6.2 Abordări anterioare**

Condițiile meteorologice nefavorabile, cum ar fi ceața, lapovița, ploaia și zăpada, sunt considerate de șoferi ca fiind cele mai periculoase condiții pentru condus. Sunt puțini cei ce iau în considerare efectul strălucirii orbitoare, care poate fi foarte dăunător vizibilității șoferului în diverse momente ale zilei sau noaptea.

S-a scurs aproape un deceniu de la instalarea primului atașament anti-orbire într-un vehicul, parasolarul (clapeta de protecție împotriva razelor soarelui), care rămâne și astăzi cea mai utilizată soluție pentru această problemă. Parasolarul este realizat dintr-un carton special, acoperit cu un material asortat cu interiorul vehiculului. La unul dintre capete are un suport de montare ce permite șoferului să îl manipuleze în cazul unei străluciri perturbatoare. Această soluție are însă câteva neajunsuri: șoferul trebuie să manipuleze manual parasolarul, ceea ce înseamnă că pentru câteva momente atenția sa asupra drumului este diminuată, iar vizibilitatea lui va fi orbită până când își va da seama din ce direcție vine lumina. În [115] F. Elahi și M.S. Rahman au propus un sistem care reglează automat parasolarul în poziția dorită de șofer. Un senzor de lumină este instalat pe parbriz, care trimite un semnal la placa de control, în cazul în care intensitatea luminii depășește un prag predefinit. Servomotorul instalat pe arborele parasolarului îl rotește (fig. 6.1) astfel încât ochii și fața șoferului să fie umbrite (protejate de razele soarelui).

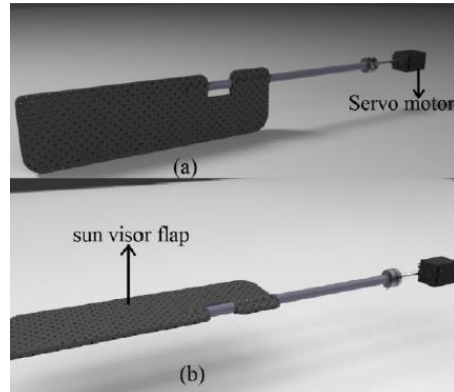


Fig. 6.1 Parasolar automat a) Poziție închisă b) Poziție deschisă [115]

Un dezavantaj al acestei metode este faptul că parasolarul acoperă doar o parte a parbrizului, astfel dacă lumina se reflectă din șosea, acesta nu mai ajută șoferul.

Un nou concept a fost prezentat în anul 2016 de către Continental la CES 2016 (Customer Electronics Show) din Las Vegas [116] și o variantă îmbunătățită la ediția CES din 2017 [117]. Acesta utilizează sticla inteligentă, care este un tip de sticlă a cărei opacitate poate fi controlată prin aplicarea unei surse de tensiune, căldură sau lumină, pentru a proteja șoferul de fenomenul de orbire. Membrii Continental spun că în viitor astfel de evenimente pot fi detectate și geamurile sau parbrizul se poate întuneca automat. Sticla inteligentă conține o peliculă subțire care poate fi întunecată prin aplicarea unei tensiuni care are ca rezultat o aliniere a particulelor încorporate. Dar tehnologia ce folosește o peliculă subțire integrată în sticlă nu este singura metodă utilizată în designul de sticlă inteligentă: alternativele se bazează pe polimeri de cristal lichid sau electrocromie. Marele dezavantaj al acestei soluții este prețul, care este foarte ridicat pentru moment pentru a fi utilizat pe vehiculele comerciale.



Fig. 6.2 Conceptul de sticlă inteligentă prezentat de Continental [116], [117]

O altă tehnologie extraordinară este prezentată de Lumineq în [118]: afișajele din sticlă care sunt perfecte pentru acest tip de aplicație. Ecranele oferă 80% transparență pentru afișajele de segment, 70% transparență pentru matrice și un unghi de vizualizare de 360 de grade. Produsul este comercializat ca ultra-fiabil, având o toleranță crescută la șoc, vibrații și vreme extremă. Mai mult, tipul, dimensiunea, forma și locul în care se introduce afișajul sunt complet personalizabile. Un exemplu de afișare în sticlă este prezentat în figura 6.3.



Fig. 6.3 Conceptul de display în sticlă

În timpul CES 2020, Bosch Virtual Visor a prezentat un ecran LCD transparent [119], asociat cu o cameră mică în cabină folosită pentru a urmări soarele care strălucește pe fața șoferului. Sistemul folosește inteligență artificială pentru a localiza trăsături faciale (inclusiv ochii, gura și nasul) și pentru a urmări umbrele ce se deplasează pe fața șoferului. Un algoritm brevetat este apoi utilizat pentru a identifica unde se află ochii șoferului și pentru a bloca și debloca selectiv secțiunile vizorului virtual în timp real pentru a preveni orbirea. Avantajul esențial este că 90% din vizieră rămâne întotdeauna transparent, astfel că șoferul poate vedea încă mult mai eficient decât ar face-o cu o vizieră convențională. Dezavantajul acestui prototip este că viziera acoperită cu țesătură este doar înlocuită și nu este îndepărtată complet.



Fig. 6.4 Conceptul de parbriz inteligent

În [120] Meschtscherjakov a propus un prototip anti-strălucire, unde lumina soarelui a fost reprodusă folosind un proiector care emite lumină albă strălucitoare și camere web au fost folosite pentru a urmări ochii șoferului. Studiul arată rezultate promițătoare, fiind limitat însă de tehnologia existentă la momentul când a fost realizat. Prin urmare, prototipul putea fi testat doar într-un mediu de laborator, prin urmare, acesta a fost inutilizabil într-un scenariu de testare auto real.

Mergând mai departe spre o abordare mai futuristă, Alticast Corp a prezentat în [121] o demonstrație referitoare la un viitor display flexibil și transparent ce poate afișa diverse informații de interes pentru șofer, poate juca rolul de HUD și ajută inclusiv la automatizare în conducere. Demonstrația a folosit un TFD realizat de LG (fig. 6.4).

### 6.3 Parasolar digital – Structură

După cum se poate observa în figura 6.5, strălucirea soarelui nu este cauzată doar de razele directe ale soarelui, cele reflectate pot avea chiar un impact mai mare asupra vizibilității șoferului. Lumina reflectată dintr-un drum umed traversează parbrizul în diferite puncte, nu doar în partea sa superioară. În astfel de cazuri, parasolarul nu mai este util. Șoferul are nevoie de un sistem care să poată detecta fenomenul de stălucire pe întreaga suprafață a parbrizului. Sistemul prezentat în această capitole este capabil să acopere întreaga suprafață a parbrizului și să efectueze automat toate aceste operațiuni, singura sarcină a șoferului rămânând aceea de a fi atent la drum.

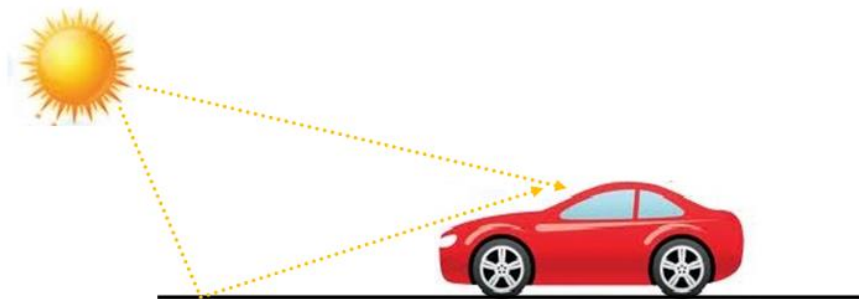


Fig. 6.5 Fenomenul de orbire

Comparând cu metodele prezentate în secțiunea anterioară, metoda propusă și publicată în [9] vine cu o serie de avantaje: sistemul acoperă întreaga suprafață a parbrizului, iar prețul pentru implementarea unui astfel de sistem pe o mașină poate fi foarte scăzut. Majoritatea mașinilor de ultimă generație sunt deja echipate cu sisteme cum ar fi head-up display și senzori inteligenți care monitorizează poziția șoferului. Ideea sistemului de față este de a utiliza datele unor sisteme existente pe vehicule și de a le interconecta pentru a obține funcționalități suplimentare.

Sistemul prezentat se bazează pe următoarele componente:

- un mecanism de urmărire a ochilor;
- un mecanism de detectare a intensității luminii;
- un mecanism de urmărire solară;
- un mecanism de umbrire.

Datorită soluțiilor deja acceptate pe piață pentru sistemele de urmărire a ochilor care monitorizează dacă șoferul a adormit sau dacă este distras, cercetarea actuală nu se concentrează pe soluționarea acestei probleme și vor prezenta doar câteva soluții existente. Același lucru este valabil și pentru detectarea intensității luminii. Există sisteme care, în funcție de anumite praguri, pot porni sau opri farurile mașinii.

Componentele întregului sistem de parasolar digital propuse sunt prezentate succint într-o manieră grafică în figura 6.6. Datele furnizate de senzorul de urmărire solară și camera foto sunt utilizate pentru a determina locația punctului de pe parbriz unde ar trebui creată pata întunecată. Opacitatea spotului poate fi determinată pe baza informațiilor furnizate de senzorul de intensitate a luminii. Fluxul de date este evidențiat și de săgeți. Toate componentele utilizate sunt de dimensiuni mici, prin urmare, ele pot fi plasate cu ușurință într-o mașină. Din punct de vedere al costurilor de producție acestea nu vor crește semnificativ, senzorii și camerele disponibile pe piață nu sunt atât de scumpe, iar avantajul ar fi faptul că parasolarul convențional poate fi eliminat, nemaivând în aceste condiții un scop real. Din punct de vedere hardware, va trebui adăugat doar senzorul de urmărire solară.

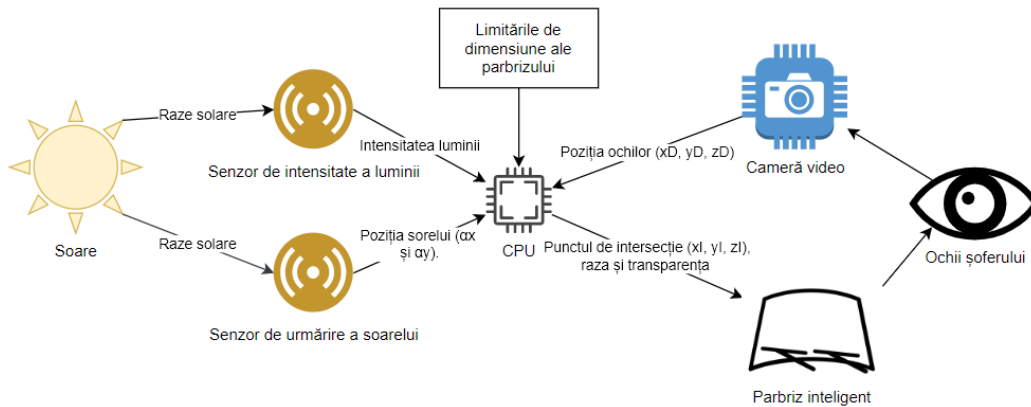


Fig. 6.6 Imagine de ansamblu grafică a parasolarului digital

Figura 6.7 prezintă o diagramă bloc care descrie sistemul cu feedback, împreună cu principalele sale componente. Sunt de asemenea evidențiate variabilele de intrare, corelațiile funcționale și modul în care este creată noua poziție a centrului petei întunecate. Ciclicitatea propusă pentru sistem este de o secundă, prin urmare, la fiecare secundă senzorii vor măsura poziția soarelui și intensitatea luminii. Informațiile furnizate, alături de limitările predefinite, vor servi ca variabile de intrare pentru faza în care se

calculează centrul locului ce trebuie întunecat. După localizarea noului punct, decizia de a muta întreaga zonă mai întunecată pe parbriz este luată dacă este depășit un prag de un centimetru. În sensul în care dacă distanța dintre centrul anterior și cel nou depășește pragul definit, noi instrucțiuni vor fi generate și furnizate sistemului, ținând cont de forma și dimensiunea predefinite ale zonei întunecate. În acest moment, instrucțiunile vor fi transmise către parbrizul inteligent (sau dispozitivul HuD) și se va proiecta parasolarul digital. Cel mai probabil, centrul zonei va fi cel mai întunecat, iar transparența va crește către limite. Coordonatele calculate anterior vor servi drept feedback și întregul proces se va repeta atâta timp cât este nevoie de parasolar digital.

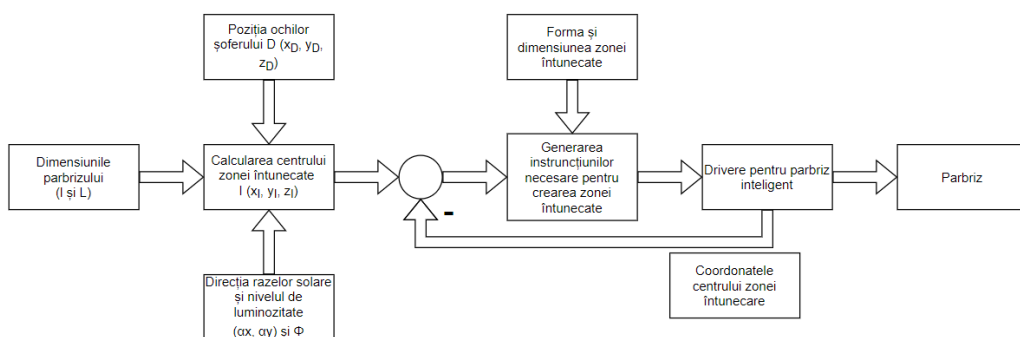


Fig. 6.7 Schema bloc a parasolarului digital

## 6.4 Sistemul de urmărire a soarelui

Primul pas ce trebuie făcut este realizarea unei detectări externe, cu alte cuvinte de a determina din ce direcție vin razele soarelui. Acest lucru se poate realiza folosind sistemul GPS al mașinii sau al telefonului mobil, aceasta fiind soluția cea mai indicată din punct de vedere al costurilor, dar rezultatele pot avea o toleranță destul de mare, ceea ce duce la o funcționare eronată a sistemului. O alternativă poate fi un senzor sau o rețea de senzori instalați în jurul parbrizului care identifică unghiul de incidență al luminii, din cea mai strălucitoare parte a cerului sau a drumului [122]. Un exemplu poate fi senzorul de detecție al soarelui dezvoltat de Solar-Mems, care măsoară unghiul incident al razelor solare atunci când acestea trec printr-o fereastră mică, indicând astfel poziția soarelui raportată la poziția senzorului (fig. 6.8). Acest senzor poate fi foarte atractiv pentru o astfel de aplicație datorită dimensiunilor mici, greutateii reduse, preciziei ridicate, dar în momentul de față prețul este încă ridicat.



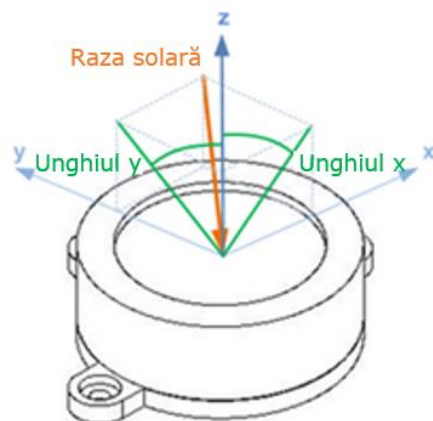


Fig. 6.8 Senzor de detecție a poziției soarelui ISS-DX

Senzorul ISS-D60 are următoarele caracteristici principale [123], prezentate pe scurt în tabelul 13:

Tab. 13 Caracteristicile senzorului ISS-DX

Parametrii	Valori	Unități	Comentarii
Tipul senzorului	2 axe	-	Ortogonale
Câmpul de observare	120	°	Deschiderea de observare
Acuratețe	<0.4	°	-
Precizie	<0.06	°	Sensibilitate
Rezoluția unghiulară	0.01	°	-
Puterea de alimentare	5 to 12	V	-
Puterea consumată medie	33	mW	-
Temperatura de operare	-40 to 85	°C	Domeniul de temperature industrială
Diametrul	80	mm	-
Înălțime	27	mm	-
Nivelul de protecție	IP65	-	CEI 60529 Standard
Timpul de viață	>10	ani	-

Senzorul ISS-DX poate fi utilizat pentru mai multe aplicații precum sisteme de urmărire solară, heliostate, controlul altitudinii folosind surse de lumină sau sisteme de navigație. În [124], senzorul a fost utilizat într-un sistem de navigație proiectat pentru micro-Rover planetar. Prin urmare, pentru sistemul propus în această cercetare poate fi utilizat și un senzor mai ieftin, deoarece acesta poate fi considerat supracalificat pentru această sarcină.

Din punctul de vedere al autorului tezei, cea mai bună soluție este un senzor instalat într-un colț al parbrizului, spre exemplu colțul cel mai apropiat de șofer. Acest

senzor poate indica poziția soarelui  $Y_s$  și  $\alpha_s$ , parbrizul fiind înclinat cu unghiurile  $Y_p$  și  $\alpha_p$  (fig. 6.9). Raportarea la sistemul de coordonate al senzorului, corelat cu coordonatele sistemului de urmărire a privirii șoferului, poate determina poziția ochilor șoferului. Dacă o axă paralelă cu direcția soarelui pornind de la punctul care indică poziția ochilor șoferului traversează suprafața parbrizului și intensitatea luminii este peste pragul predefinit, trebuie activat HuD (fig. 6.9).

Pe lângă informațiile privind poziția soarelui, senzorul de lumină trebuie să indice luminozitatea razelor solare și dimensiunea suprafeței ce poate cauza orbirea șoferului, informațiile ce vor fi utilizate în faza de proiecție, pentru a regla opacitatea și dimensiunea imaginilor proiectate.

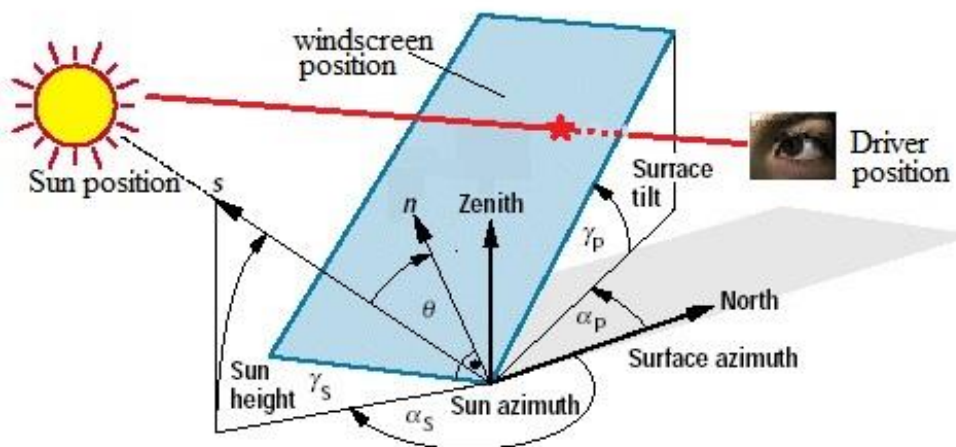


Fig. 6.9 Sistemul de detectare a soarelui [9]

Mergând mai departe cu stabilirea locului pe parbriz unde va fi proiectată pata / imaginea mai întunecată, soluția se obține transpunând sistemul la o problemă de geometrie 3D și apoi rezolvându-l. În figura 6.10 se poate observa o privire de ansamblu geometrică a sistemului.

Planul de referință este notat cu  $n_r$ , Or fiind punctul de origine, mai precis punctul în care senzorul de urmărire solară este plasat în interiorul mașinii (colțul din stânga jos al parbrizului). Planul parbrizului este marcat folosind  $n_p$ , iar unghiul dintre planul de referință și planul parbrizului este marcat cu  $\varphi$ . Informațiile despre poziția șoferului pot fi obținute de la sistemul de urmărire bazat pe cameră. Prin urmare, D reprezintă ochii șoferului. Soarele este marcat folosind S, intersecția dintre raza de soare și parbriz este notată ca I. Senzorul de urmărire solară returnează unghiurile  $\alpha_x$  și  $\alpha_y$ . Axele sistemului de referință (în plan  $n_r$ ) sunt paralele cu sistemul  $X_i$   $Y_i$ .

Scopul este de a determina coordonatele lui I ca punct de intersecție între raza de soare și parbriz. Coordonatele vor depinde de D ( $x_D$ ,  $y_D$ ,  $z_D$ ),  $\varphi$ ,  $\alpha_x$  și  $\alpha_y$ . Toate acestea sunt variabile cunoscute.

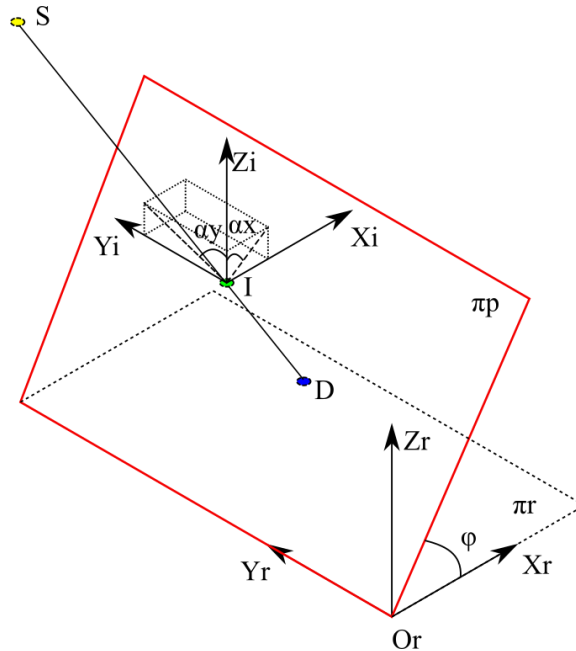


Fig. 6.10 Privire de ansablu geometrică a sistemului

Pentru a simplifica problema, o împărțim în mai multe părți. În primul rând, trebuie determinată ecuația pentru planurile  $\pi_r$  și  $\pi_p$ . De menționat că  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ , and  $\vec{k}$  sunt vectori de unitate (fiecare corespunzător  $OrX_r$ ,  $OrY_r$  și  $OrZ_r$ ), pe lângă acești vectori, există și alți vectori marcați cu o săgeată desupra și folosiți în ecuațiile următoare. Acești vectori menționați nu au fost adăugați în figura deoarece ar scădea lizibilitatea, ceea ce face imaginile greu de vizualizat din cauza complexității ridicate. Din figura 6.11 putem obține ecuația  $\pi_r$  a planului (ecuația 6.1) și observăm că planul  $\pi_p$  poate fi determinat de  $OrY_r$ ,  $OrP$  și  $Or$  (două linii și un punct):

$$\pi_r: z = 0 \quad (6.1)$$

Ecuția care descrie  $OrY_r$  este prezentată în ecuația 6.2. Deoarece  $Or$  este punctul de referință, are următoarele coordonate:  $(0, 0, 0)$ . Introducând ecuația 6.3 în ecuația 6.4, se obține ecuația pentru  $OrP$  (a se vedea ecuația 6.5).

$$OrY_r: \frac{x}{0} = \frac{y}{1} = \frac{z}{0} \rightarrow \overrightarrow{v_{OrY_r}} = \vec{j} \quad (6.2)$$

$$\tan \varphi = \frac{z_P}{x_P} \rightarrow z_P = x_P * \tan \varphi \quad (6.3)$$

$$OrP: \frac{x}{x_P} = \frac{y}{0} = \frac{z}{z_P} \rightarrow \frac{x}{x_P} = \frac{y}{0} = \frac{z}{x_P * \tan \varphi} \quad (6.4)$$

$$OrP: \frac{x}{1} = \frac{y}{0} = \frac{z}{\tan \varphi} \rightarrow \vec{v}_{OrP} = \vec{i} + \tan \varphi \vec{k} \quad (6.5)$$

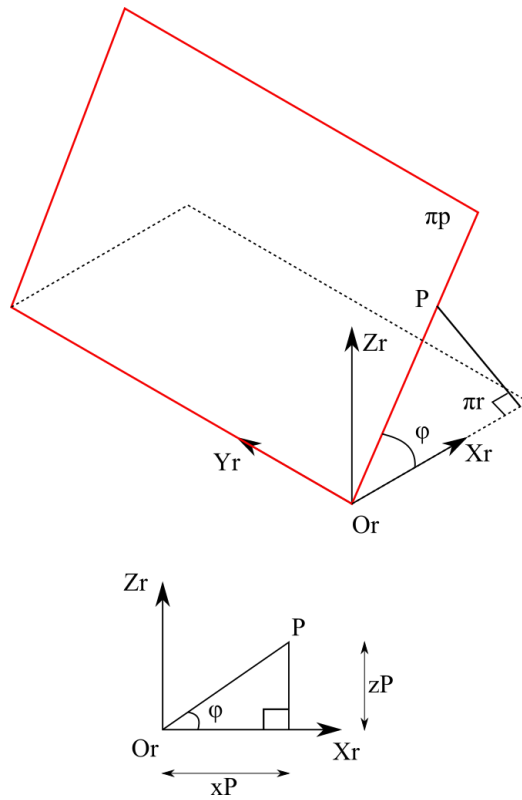


Fig. 6.11 Suport pentru determinarea ecuațiilor pentru nr și np

Apoi, folosind formule cunoscute, precum ecuația 6.6, putem obține ecuația pentru np (vezi ecuația 6.7).

$$\pi_p: \begin{vmatrix} x - x_{Or} & y - y_{Or} & z - z_{Or} \\ u_i & u_j & u_k \\ v_i & v_j & v_k \end{vmatrix} = 0 \quad (6.6)$$

$$\pi_p: \begin{vmatrix} x & y & z \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & \tan \varphi \end{vmatrix} = 0 \rightarrow \tan \varphi * x - z = 0 \quad (6.7)$$

Următorul pas este determinarea ecuației care descrie SD. Figura 6.12 va servi drept suport pentru rezolvarea acestei probleme.

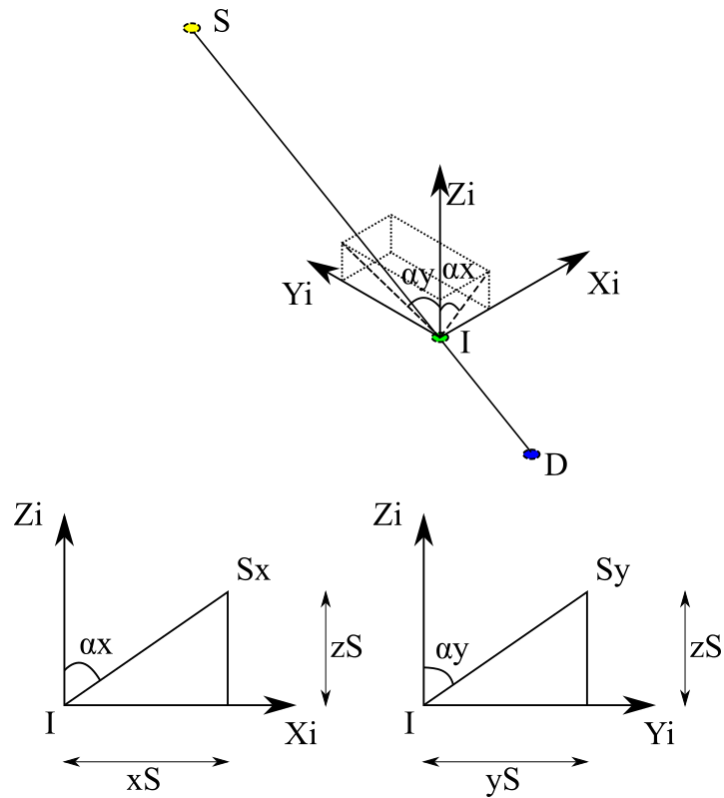


Fig. 6.12 Suport pentru determinarea ecuațiilor pentru SD

După cum poate fi observat, SD poate fi determinată de  $\vec{v}_{SD}$  și  $D(x_D, y_D, z_D)$ . Introducând ecuația 6.8 și ecuația 6.9 în ecuația 6.10, se obține ecuația dorită 6.11. Acum, tot ce rămâne de făcut este determinarea coordonatelor punctului de intersecție I, cunoscând ecuația 6.12.

$$\tan \alpha_x = \frac{x_S}{z_S} \rightarrow x_S = z_S * \tan \alpha_x \quad (6.8)$$

$$\tan \alpha_y = \frac{y_S}{z_S} \rightarrow y_S = z_S * \tan \alpha_y \quad (6.9)$$

$$SD: \frac{x-x_D}{x_S} = \frac{y-y_D}{y_S} = \frac{z-z_D}{z_S} \quad (6.10)$$

$$SD: \frac{x-x_D}{\tan \alpha x} = \frac{y-y_D}{\tan \alpha y} = \frac{z-z_D}{1} \quad (6.11)$$

$$I = SD \cap \pi p \quad (6.12)$$

Coordonatele punctului I sunt obținute prin rezolvarea sistemului de ecuații prezentate în ecuația 6.13.

$$\begin{cases} \tan \varphi * x_I - z_I = 0 \\ (x_I - x_D) * \tan \alpha y - (y_I - y_D) * \tan \alpha x = 0 \\ x_I - x_D - (z_I - z_D) * \tan \alpha x = 0 \\ y_I - y_D - (z_I - z_D) * \tan \alpha y = 0 \end{cases} \quad (6.13)$$

Sistemul de ecuații 6.13 este extins prin adăugarea de limitări cauzate de faptul că parbrizul are o dimensiune fixă, prin urmare, punctul I nu va fi luat în considerare dacă nu se află pe suprafața parbrizului.

## 6.5 Sistemul de urmărire a ochilor

După efectuarea detecției exterioare, sistemul trebuie să facă o detecție interioară, pentru a afla poziția clară a șoferului. Ochii și fața șoferului trebuie să fie protejați de strălucirea orbitoare a soarelui, astfel pentru această detecție se va utiliza un sistem de urmărire a ochilor (privirii șoferului).

Așa cum a fost menționat mai sus, capitolul curent nu își propune rezolvarea problemei de urmărire a șoferului. Prin urmare, unele soluții deja existente vor fi prezentate ca exemple a ceea ce ar putea fi utilizat pentru a acoperi această parte a sistemului. Un sistem funcțional de urmărire a ochilor bazat pe o cameră este prezentat în [125]. Un aspect foarte important este faptul că sistemul este capabil să monitorizeze următoarele caracteristici la o viteză ce permite utilizarea sa în timp real: urmărirea feței, estimarea poziției, estimarea direcției privirii, detectarea și recuperarea erorii. Structura hardware a acestui tip de sistem este prezentată în figura 6.13.

După cum se poate observa, cele două camere sunt plasate echidistant față de punctul de origine și sunt rotite înspre acest punct, în plan orizontal. Sunt urmărite regiuni specifice ale feței umane, precum colțurile ochilor, gurii, nasului, urechilor și sprâncenelor. În continuare, ochii sunt considerați ca sfere și direcția privirii este dată de direcția unei linii care pornește din centrul globului ocular. Punctul de intersecție al ambilor ochi este punctul de privire. Datorită progresului înregistrat în ultimii ani în ceea ce privește achiziția de imagini, un astfel de sistem nu ar adăuga costuri mari și va oferi rezultate foarte bune.

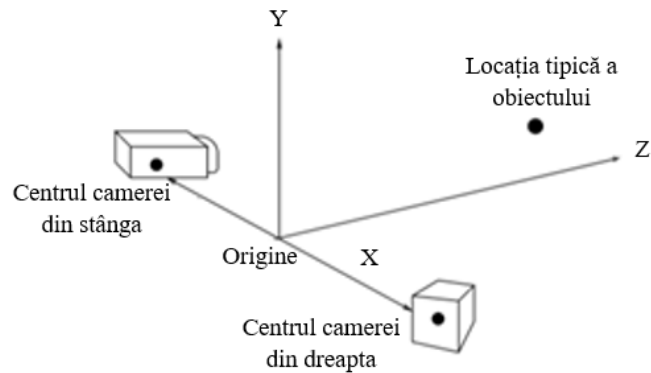


Fig. 6.13 Sistem de urmărire a ochilor compus din două camera video

În zilele noastre, sunt nenumărate companii precum Smart Eye [126] care oferă soluții bazate pe o singură cameră și tehnologie LED (figura 6.14). Scopul utilizării luminii infraroșii este ca aceasta să se reflecte din corneea ochiului iar în acest fel camera să poată detecta poziția ochiului. Din acest moment, procesarea de imagini este utilizată pentru a urmări privirea șoferului și poziția ochilor. Mai mult, algoritmi bazați pe principii AI (inteligență artificială) sunt utilizați pentru interpretarea gesturilor șoferului.

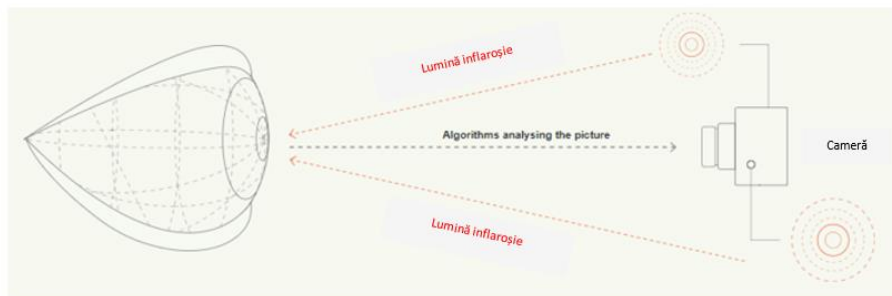


Fig. 6.14 Sistem de urmărire a ochilor bazat pe camere video și lumină LED

Produse precum Smart Eye Pro DX [126] pot fi utilizate cu ușurință într-un vehicul capabil să detecteze poziția capului, poziția ochilor dar și să identifice diferite aspecte precum dacă șoferul este adormit/somnoros.

Există deja mașini echipate cu sisteme exclusive pentru urmărirea ochilor șoferului spre a monitoriza pierderea atenției acestuia în condițiile de conducere de zi și de noapte, așa cum este prezentat în [127], folosind procentul de închidere a ochilor ca o indicație a nivelului de alertă. Utilizând acest sistem, mașina poate efectua mai multe acțiuni, cum ar fi frânarea, pornirea unui sunet de alertă sau vibrații în volan pentru a reduce riscurile de accident [128]; mișcările capului și ale ochilor sunt monitorizate cu

camere video, de obicei echipate cu iluminare activă în infraroșu. Mai mult, în [129] comportamentul șoferului în noile medii a fost analizat pentru a determina timpul petrecut de acesta în observarea/analiza indicatoarelor rutiere necunoscute; această cercetare arată modul în care șoferul a încercat să compenseze supraîncărcarea cognitivă. Tipare de conducere sunt observate și în lucrarea [130], unde au fost identificate diverse moduri/tipare de observare ale șoferilor, pe diferite viraje rutiere și în timpul staționării la semafoar. S-a observat că, în timp ce sunt executate viraje la stânga sau la dreapta și în timp ce se așteaptă la semafor, atenția șoferilor se schimbă considerabil.

Costul unui sistem de urmărire a ochilor este ridicat în acest moment. Astfel de sisteme nu sunt instalate pe toate vehiculele comerciale, doar cele din gama premium (sau „high-end”) dispun de ele. În [131] A. Hong și colaboratorii săi au propus un sistem de urmărire a ochilor cu costuri reduse, care trebuie însă plasat pe capul șoferului. Privirea subiectului este monitorizată folosind două camere și două oglinzi instalate pe partea laterală a capului.

Pentru sistemul propus în acest capitol informațiile referitoare la poziția capului și a ochilor sunt vitale, pentru a le proteja de fenomenul de strălucire nedorit. Astfel, în cazul în care vehiculul nu este echipat cu un sistem de urmărire a ochilor, o variantă after-market poate fi utilizată pentru a indica datele necesare, ca cea prezentată mai sus ([131]).

## 6.6 Head-up display

Dispozitivele Head-up Display (HuD) devin din ce în ce mai populare, mai ales în rândul vehiculelor din clasa premium. Dacă primele variante ale HuD puteau afișa doar câteva informații de bază, cum ar fi icoane de viteză și navigație, cele mai recente variante sunt mult mai complexe și pot prezenta imagini 3D (așa-numita tehnologie de realitate augmentată) cum ar fi informațiile de navigație, ghidarea benzii sau potențialele pericolele. Cercetarea propusă în [132] prezintă un sistem de navigație pentru motociclete care utilizează tehnologia HuD. Este cunoscut faptul că un motociclist își mută punctul de observare / atenție într-un mod caracteristic în timp ce conduce, ceea ce face și mai dificilă privirea unor afișe cu cristale lichide mici, prin urmare soluția propusă este un HuD atașat pe cască care duce la o siguranță sporită în timpul conducerii unei motociclete. Există lucrări precum [133] care analizează comportamentul șoferului în timpul utilizării HuD; folosind un simulator de conducere, a fost analizată acceptarea de către șofer a locației HuD, în scopul obținerii unor date valoroase despre locul în care trebuie afișate informațiile și în ce mod. Ca în oricare domeniu, mai există încă loc de îmbunătățire în ceea ce privește afișajele HuD și tehnologia aferentă, deoarece momentan poate duce la probleme în ceea ce privește atenția vizuală a șoferului, așa cum se arată în [134]. Prin urmare, schimbarea atenției vizuale între imaginea virtuală și fundal poate determina șoferul să se concentreze pe HuD și nu pe drum, uneori fiind dificil pentru șofer să distingă elementele din imaginea HuD față de cele din fundal (scena reală).

După cum a fost deja menționat, dispozitivul HuD a fost conceput în principal pentru a afișa informații utile în câmpul vizual al șoferului, pentru a se încerca evitarea oricărei forme de distragere a atenției. Un HuD cu caracteristicile proiectării unei combinații nelimitate de imagini fără o poziție de proiectare fixă și o dimensiune fixă a



cadranului de proiectare (a imaginii proiectate), după modelul prezentat în [135], este soluția dorită pentru sistemul propus, pentru a fi capabil să reducă efectul de orbire asupra vederii șoferului. Comparând acest model de HuD cu cea mai mare parte a display-urilor comerciale existente, cel utilizat în sistemul de față trebuie să fie capabil să gestioneze trei constrângeri prezente pe modelele actuale:

- să fie reglabil dinamic pe ambele axe,  $x$  și  $y$ ;
- să fie capabil să ajusteze dinamic opacitatea imaginii proiectate, pe baza intensității luminozității soarelui;
- să fie capabil să ajusteze dinamic dimensiunea imaginii proiectate

Toate aceste trei condiții pot fi îndeplinite cu noua generație de HuD, bazată pe tehnologia DLP [136], fără nicio schimbare hardware, fiind necesare doar câteva îmbunătățiri software, ceea ce reprezintă costuri foarte scăzute.

În [137] F. Wientapper și colab. au propus o variantă de afișare a HuD, care are ca informație de intrare poziția capului observatorului / șoferului pentru a afișa imaginea în poziția ideală pentru acesta. Dacă un astfel de HuD cu calibrare internă devine realitate pe vehiculele comerciale, complexitatea sistemului propus în această cercetare scade, fără a fi nevoie de un sistem suplimentar de urmărire a ochilor.

În figura 6.15 este ilustrat rezultatul atenuării strălucirii orbitoare din imagine. Sistemul colectează datele de la senzorul de lumină și sistemul de urmărire a ochilor și proiectează o imagine ajustată (în opacitate și mărime) pe parbriz.



Fig. 6.15 Atenuarea fenomenului de orbire folosind HuD

## 6.7 Descrierea sistemului din punct de vedere funcțional

În această secțiune se va explica funcționalitatea parasolarului digital pe baza diagramei de mai jos (fig. 6.16). Propunerea autorului tezei este ca cel ce decide dacă dorește să folosească funcționalitatea clasică de afișaj a HuD sau cea de parasolar digital să fie conducătorul auto, deoarece ambele funcționalități nu pot fi utilizate în paralel.

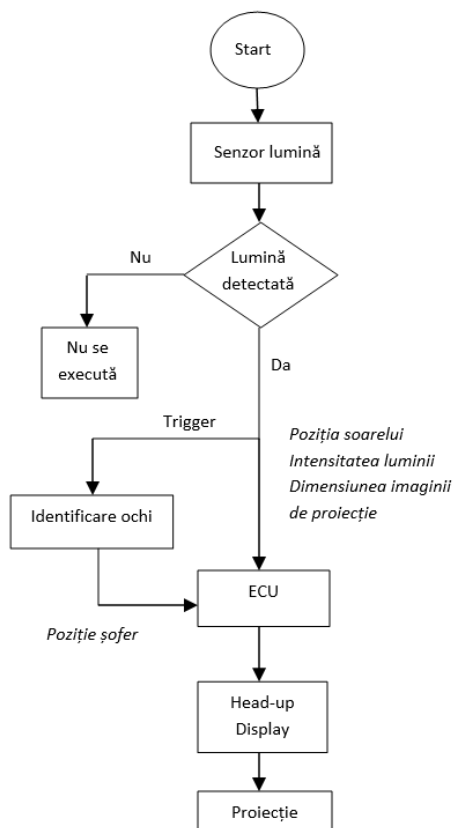


Fig. 6.16 Diagrama functionala a parasolarului digital

Când este aleasă funcționalitatea parasolarului digital, sistemul de urmărire a soarelui începe monitorizarea. Dacă pe suprafața parbrizului este detectată o lumină cu intensitatea mai mare decât pragul predefinit, sistemul primește datele de la senzorul solar în ceea ce privește poziția soarelui. În afară de informațiile referitoare la poziția soarelui, sistemul de urmărire a soarelui trebuie să ofere, de asemenea, informații privind nivelul intensității luminii și dimensiunea locului care trebuie acoperit.

Când sistemul detectează lumina de pe parbriz, pornește automat și o detecție interioară, pentru a afla dacă razele soarelui perturbă șoferul. În caz afirmativ, toate aceste informații sunt trimise la ECU pentru a iniția procesul de proiectie.

HuD-ul integrat în acest sistem trebuie să poată proiecta lumină în orice punct al parbrizului. ECU-ul configurează imaginea care trebuie afișată pe baza informațiilor colectate de la sistemul de urmărire a soarelui (poziția, nivelul luminozității și dimensiunea spotului) și sistemul de urmărire a ochilor (poziția conducătorului auto).

Aceste date sunt trimise HuD-ului care proiectează o imagine adaptată (opacitate și mărime) astfel încât întreaga suprafață deranjantă să fie acoperită (vezi figura 6.15).

Deoarece nu aveam toate resursele necesare pentru a crea un prototip de mașină reală, a fost preferată o simulare pentru a testa și confirma partea teoretică. Se știe că nu toate problemele din viața reală pot fi abordate prin simulări, prin urmare, am putea prezice doar anumite aspecte precum timpul de rulare, prioritizarea sarcinilor sau utilizarea memoriei. Mai mult, se consideră că orbirea cauzată de strălucire reprezintă o problemă doar în condițiile meteorologice însoțite sau când șoferul oferă un feedback prin apăsarea unui buton. Senzorii de intensitate luminoasă și senzorul de urmărire solară, alături de unele date suplimentare care pot fi primite de la mașină, precum ora actuală a zilei, pot fi utilizate pentru a determina dacă punctul (pata) întunecat va fi creat sau nu. Au fost create mai multe scripturi pentru a acoperi cazurile de utilizare atunci când poziția șoferului este fixă, iar poziția soarelui este mobilă și invers. Toate variabilele sunt configurabile într-un script de intrare și, în acest mod, utilizatorul poate controla următoarele aspecte ale simulării: dimensiunea parbrizului ( $L =$  lățime și  $I =$  înălțime), unghiul dintre planul de referință și planul parbrizului ( $\varphi$ ), coordonatele ochilor șoferului ( $D$ ) și poziția soarelui ( $a_x$  și  $a_y$ ). Diagrama de flux a întregului proces de modelare a umbririi solare este descrisă în figura 6.17.

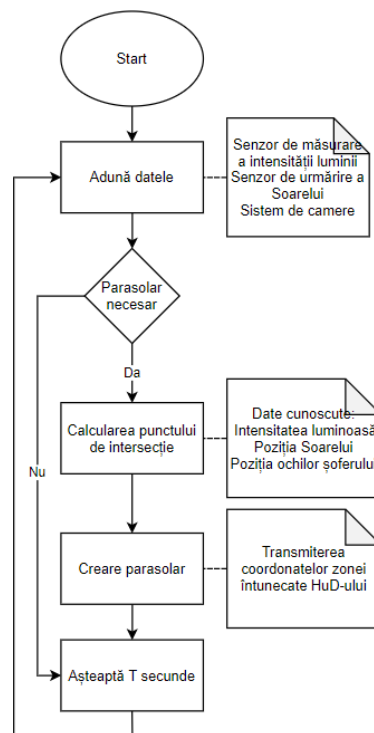


Fig. 6.17 Diagrama de flux a sistemului de umbrire

Componentele implicate în furnizarea informațiilor necesare pentru funcționarea sistemului sunt un set de camere video care urmăresc poziția ochilor șoferului, senzorul care oferă direcția razelor solare și senzorul care oferă nivelul de luminozitate. După analiza tuturor acestor date, dacă se identifică necesitatea parasolarului digital, toate datele sunt trimise către ECU. Puterea de calcul necesară acestor operații ar trebui să fie deja prezentă pe toate vehiculele, datorită faptului că aceasta nu este o sarcină cu prioritate ridicată, iar ciclicitatea sa poate fi configurată la o valoare de  $T = 1$  secundă. Prioritatea și ciclicitatea se bazează pe faptul că, chiar dacă este o caracteristică de siguranță rutieră, aceasta nu poate fi comparată cu alte caracteristici de siguranță, cum ar fi frânarea automată sau declanșarea airbag-ului. Variațiile acestui proces sunt lente, întrucât direcția mașinii nu se schimbă foarte des nici măcar în oraș, aceeași ipoteză fiind aplicată și pentru mișcarea soarelui sau a capului șoferului. După identificarea punctului de intersecție dintre raza de soare și parbriz, sistemul HUD este manevrat în concordanță și se proiectează pata întunecată, transparența acestuia fiind în concordanță cu intensitatea luminii.

Un punct critic poate fi puterea de calcul necesară pentru a rezolva sistemul de ecuații prezentat în 6.13, care va fi extins cu următoarele limitări, în 6.14, pentru a asigura faptul că punctul de intersecție va fi restrâns la dimensiunea parbrizului sau, în cele din urmă, limitat la orice dimensiune se dorește (partea superioară a parbrizului spre exemplu).

$$\begin{cases} y_l \geq 0 \\ y_l \leq L \\ z_l \geq 0 \\ z_l \leq \sin \varphi * l \end{cases} \quad (6.14)$$

Toate simulările au fost rulate pe un computer cu următoarele specificații: procesor Intel Core i7-8700 CPU 3.20 GHz (12 CPU), 16 GB memorie RAM și 480 GB SSD. Utilizând funcția de măsurare încorporată MATLAB, rezolvarea sistemului de ecuații a durat 119 milisecunde. De menționat că sistemul de operare Windows și MATLAB au fost responsabili pentru algoritmi utilizați, prioritizare, etc. Pentru a avea o apreciere mai bună a timpului necesar pentru rezolvarea ecuațiilor într-un mediu real, a fost aleasă o placă de dezvoltare mai puțin puternică: microcontroler ATmega328P cu 32 KB memorie flash, 2 KB SRAM și 16 MHz frecvența de tact. Pe acest microcontroler, timpul necesar pentru rezolvarea ecuațiilor, folosind ecuația 6.15, a fost sub 1 milisecundă (0,8 microsecunde). Când s-a folosit ecuația 6.16, timpul necesar pentru rezolvarea ecuațiilor a fost de aproximativ 1,2 milisecunde. Pe sistem, singurul proces care se desfășura a fost algoritmul care rezolva ecuațiile. Având aceste informații, este clar că procesul se poate rula pe un sistem real într-o sarcină cu prioritate scăzută, fără a interfera cu secvențe de prioritate mai mare. Din perspectiva utilizării memoriei, ecuația 6.15 vine, din nou, cu performanțe mai bune, deoarece sunt utilizate mai puține variabile.

Pentru a rezolva sistemul de ecuații 6.13, coordonatele punctului de intersecție sunt calculate cu ajutorul ecuației 6.15. Din primele trei ecuații, soluția poate fi obținută iar cea de-a patra ecuație este utilizată doar pentru a verifica dacă soluția este valabilă sau nu. La această soluție s-a ajuns prin rezolvarea sistemului de ecuații de mână.

$$\begin{cases} x_I = \frac{x_D - \tan \alpha x * z_D}{1 - \tan \alpha x * \tan \varphi} \\ y_I = \frac{\tan \alpha y (x_D - \tan \alpha x * z_D)}{\tan \alpha x (1 - \tan \alpha x * \tan \varphi)} + y_D - \frac{\tan \alpha y * x_D}{\tan \alpha x} \\ z_I = \tan \varphi * x_I \\ y_I - y_D - (z_I - z_D) * \tan \alpha y = 0 \end{cases} \quad (6.15)$$

Un alt mod de a obține soluția poate fi folosind regula lui Cramer pentru a rezolva primele trei ecuații, iar apoi a patra ecuație este utilizată doar pentru a verifica dacă soluția este valabilă sau nu. Coeficienții necesari pentru calcularea determinantilor sunt prezentați în ecuația 6.16, aceștia fiind obținuți din ecuația 6.13.

$$\begin{vmatrix} \tan \varphi & 0 & -1 & 0 \\ \tan \alpha y & -\tan \alpha x & 0 & \tan \alpha y * x_D - \tan \alpha x * y_D \\ 1 & 0 & -\tan \alpha x & x_D - \tan \alpha x * z_D \end{vmatrix} \quad (6.16)$$

Pentru ambele variante, limitările prezentate în ecuația 6.17 vor fi utilizate pentru a restrânge punctul de intersecție la dimensiunea parbrizului.

## 6.8 Rezultate simulate

În acest subcapitol vor fi prezentate și discutate rezultatele obținute; toate testele au fost realizate prin simulări MATLAB și anterior publicate în [10]. Există mai multe scenarii care au fost luate în considerare pentru a testa și evidenția principiile descrise în capitolele anterioare: primul scenariu în care atât poziția soarelui cât și a șoferului sunt fixe, următoarele două scenarii în care poziția unuia este fixă iar a celuilalt mobilă iar cel de-al patrulea scenariu în care ambele poziții sunt mobile. Prin realizarea acestor scenarii se acoperă complet cel de-al treilea obiectiv stabilit în partea introductivă a acestei lucrări - (iii) evitarea obirii șoferului, datorată strălucirii soarelui, prin introducerea unui sistem de parasolar dinamic;

În figura 6.18, este prezentată diagrama a fluxului de simulare. Utilizatorul va configura datele de intrare într-un fișier separat, apoi poate rula simularea. Pentru lizibilitate, a fost creat un fișier de simulare pentru fiecare caz. După încărcarea datelor în simulare, pe baza informațiilor furnizate de senzorul de urmărire solară, coordonatele punctului S au fost calculate. Folosind ecuația 6.14 și impunând o anumită limitare precum distanța dintre D și S sau faptul că S trebuie să fie de cealaltă parte a parbrizului față de D, se obține poziția soarelui. Acest pas este utilizat mai ales pentru vizualizarea datelor. În acest fel, linia DS poate fi reprezentată. În continuare, punctul de intersecție a fost calculat pe baza ecuațiilor 6.16 și 6.17. Utilizatorul poate furniza vectori de intrare a valorilor pentru poziția soarelui ( $\alpha_x$  și  $\alpha_y$ ) sau pentru coordonatele ochilor șoferului, D ( $x_D$ ,  $y_D$ ,  $z_D$ ). După ce toate datele de intrare sunt procesate și toate punctele de intersecție sunt disponibile, rezultatele sunt reprezentate pentru a oferi o bună vizualizare a datelor. Toate datele calculate sunt, de asemenea, furnizate în formă numerică, dacă este nevoie pentru interpretare.

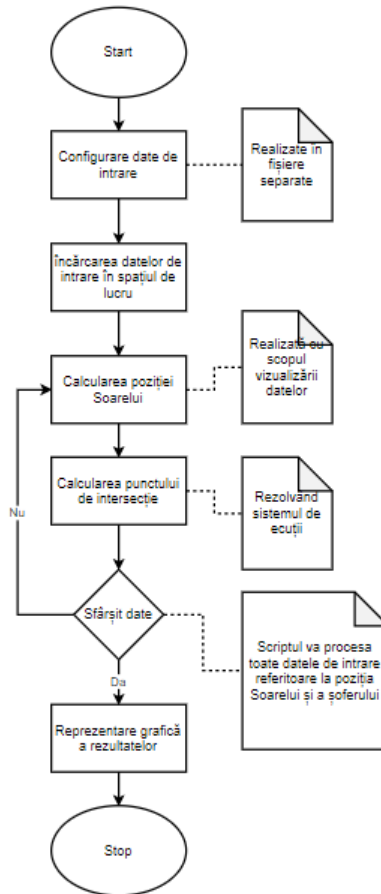


Fig. 6.18 Diagramă a fluxului de simulare

Primul scenariu de testare este unul simplu. Soarele S și șoferul D sunt considerate puncte fixe. După cum se poate observa în figura 6.19, a fost obținut un punct de intersecție I. Prin urmare, acolo va fi centrul proiecției imaginii întunecate (ce protejează șoferul de razele solare). Linia dintre DS și ID este marcată violet, planul este colorat albastru, iar punctul de intersecție I este marcat cu o cruce verde.

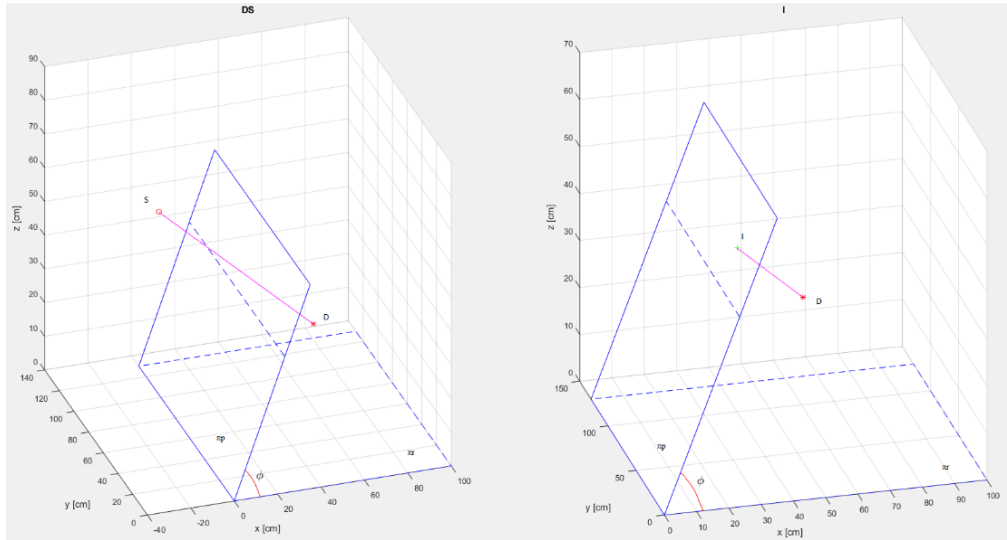


Fig. 6.19 Primul șcenariu de test - Soarele (S) și ochii șoferului (D) au poziții fixe

Pentru următorul scenariu de testare, șoferul a fost considerat un punct fix iar soarele un punct mobil. A fost aplicată o limitare a faptului că punctele de interes sunt doar în partea superioară a parbrizului. Utilitatea practică a acestei limitări este dată de faptul că actualele tehnologii HuD nu permit o acoperire completă a parbrizului. Prin urmare, punctele de interes au fost considerate doar cele aflate în zona afișajului. În figura 6.20 pot fi observate rezultatele simulării.

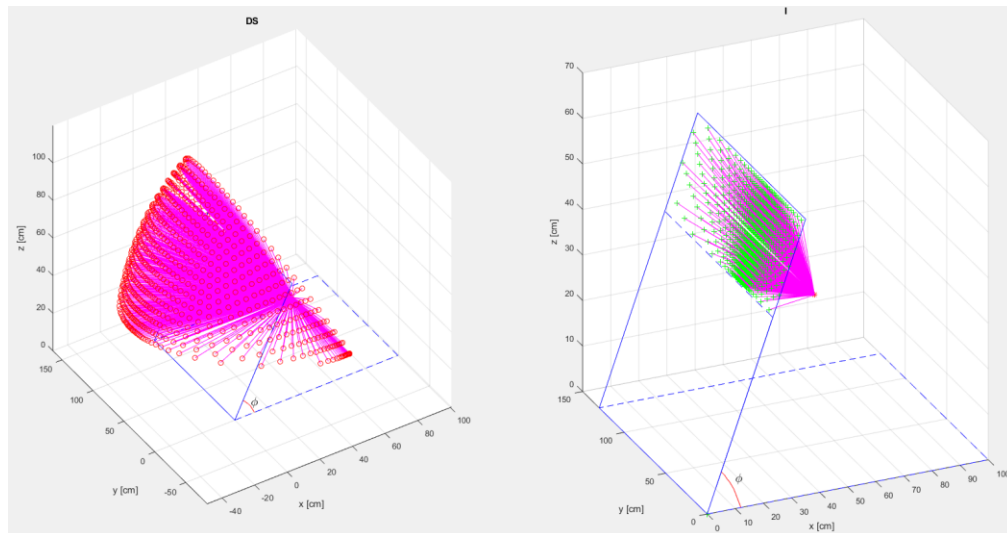


Fig. 6.20 Al doilea șcenariu de test — S punct mobil și D punct fix

Următorul scenariu de testare acoperă partea în care șoferul se deplasează. Prin urmare, soarele a fost considerat un punct fix, iar șoferul unul mobil. Mișcarea șoferului a fost descrisă de o sferă cu rază fixă. Aceleași limitări au fost aplicate ca și în testul precedent. În figura 6.21 pot fi observate rezultatele simulării.

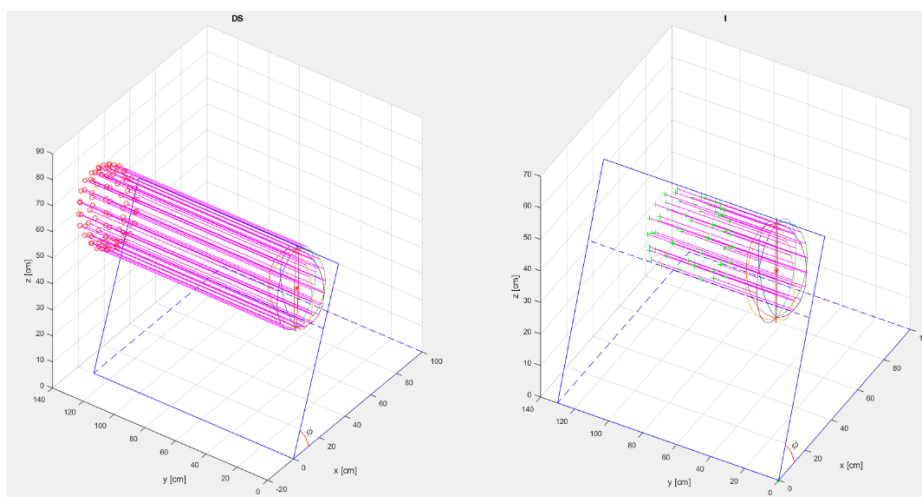


Fig. 6.21 Al treilea scenariu de test — S punct fix și D punct mobil

Pentru scenariul final al testului, poziția soarelui se schimbă iar ochii șoferului se mișcă, cu alte cuvinte ambele puncte sunt mobile. Mișcarea șoferului a fost descrisă de o sferă cu rază fixă. Au fost aplicate aceleași limitări ca și în testul precedent. În figura 6.22 se pot observa rezultatele simulării.

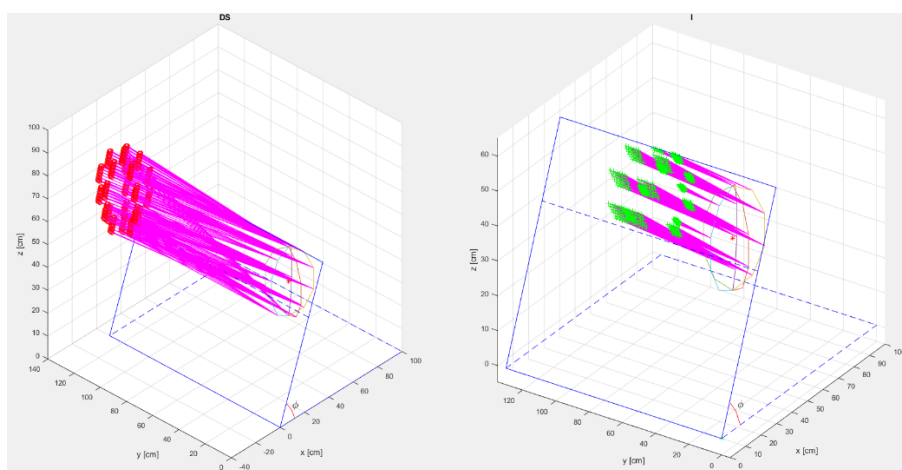


Fig. 6.22 Al patrulea scenariu de test — S și D sunt puncte mobile



## 6.9 Concluziile parțiale și contribuții

Lumina și energia solară sunt utile uneori, pentru domenii cum ar fi agricultura [138], dar condusul mașinii în astfel de condiții, cu razele soarelui pe parbriz, este cu siguranță deranjant. În acest capitol este prezentat un nou concept de sistem anti-orbire capabil să protejeze șoferul de razele solare deranjante, indiferent de locul în care acestea traversează parbrizul. În prezent, cea mai utilizată soluție pentru această problemă este parasolarul, dar cel mai mare dezavantaj al acestuia este faptul că poate proteja doar zona superioară a parbrizului. Din păcate, fenomenul de orbire este imprevizibil; trebuie acționat contra razelor de soare care traversează direct suprafața parbrizului, dar și asupra celor reflectate de pe un drum umed sau înghețat. Pentru cea de-a doua categorie, parasolarul este inutil.

Companiile automotivă depun eforturi pentru a găsi o soluție pentru această problemă; cea propusă și prezentată pe prototipuri în momentul de față, folosind sticla inteligentă (cu o peliculă subțire integrată), este scumpă din punct de vedere al fabricației.

Obiectivul avut și îndeplinit în cadrul acestui capitol este:

(iii) evitarea obirii șoferului, datorată strălucirii soarelui, prin introducerea unui sistem de parasolar dinamic – posibil de realizat utilizând sisteme deja existente pe autovehiculele actuale ca o alternativă la parbrizele construite cu tehnologiile "smart glass".

În urma analizei efectuate asupra acestei probleme, consultând de asemenea stadiul actual prezentat în literatura de specialitate, concluzia trasă este că metoda propusă în acest capitol poate fi o variantă eficientă atât din punct de vedere tehnic cât și din cel al costurilor. Sistemul este capabil să protejeze șoferul împotriva orbirii cauzate de razele soarelui, indiferent de zona unde razele întâlnesc parbrizul, și este de asemenea, rezonabil din punct de vedere al costurilor, deoarece echipamentele din structura sa sunt deja folosite pe vehiculele actuale, se dorește doar o utilizare a acestora cu scopul de a obține noi funcționalități: cu ajutorul unor senzori, de lumină și de detecție a poziției Soarelui, se detectează poziția acestuia din urmă și intensitatea razelor (un sistem mai ieftin dar nu atât de precis s-ar putea baza pe un GPS), cu sistemul de urmărire a ochilor se indică poziția șoferului și cu ajutorul unui dispozitiv head-up display, se proiectează o imagine pe parbriz în zona deranjantă, pentru atenuarea efectului de strălucire. Mai mult, prin utilizarea aceluiași principii expuse mai sus, sistemul poate fi îmbunătățit astfel încât să devină util și pentru orbirea cauzată de farurile celorlalți participanți la trafic.

De asemenea a fost prezentat un studiu privind aplicabilitatea și beneficiile unui sistem anti-orbire. Mai multe scenarii de test au fost probate folosind simulări MATLAB pentru a confirma capacitatea de utilizare a unui astfel de sistem. Având în vedere progresul înregistrat în domeniul HuD în ultimii ani, pare doar o chestiune de timp (câțiva ani) până când un astfel de sistem va fi realizat cu un cost de producție suficient de scăzut pentru a aduce beneficii atât pentru șofer, cât și pentru producător. Într-adevăr, parasolarul clasic este învechit în comparație cu celelalte componente ale unui vehicul modern și nu contribuie la siguranța șoferului la fel de mult ca o parasolar digital.

Proiectul prezentat poate fi îmbunătățit pe diferite niveluri, începând cu piesele hardware. Senzorul de urmărire solară propus este supracalificat pentru un astfel de

proiect, un senzor de precizie și rezoluție mai mici ar funcționa de asemenea pentru sistemul propus; în acest mod, costurile ar fi reduse. O îmbunătățire din punct de vedere al costurilor ar fi eliminarea senzorului de urmărire solară și încercarea de a obține toate informațiile necesare doar prin procesarea imaginilor.

O altă potențială actualizare este faptul că problema strălucirii este abordată doar pentru raze solare directe. După cum se știe, există și scenarii în care razele de soare sunt reflectate din drum, fiind de asemenea extrem de dăunătoare vederii. În acest caz, considerăm că se va aplica aceeași abordare, folosind un HuD și proiectând un punct (o pată) întunecat în care zona în care razele de soare reflectate produc disconfort. Analiza acestui caz specific și calculul poziției punctului întunecat pe parbriz nu sunt prezentate în această lucrare.

În viitor, mediul de simulare se va înlocui cu un prototip real care poate fi testat într-un laborator iar apoi prototipul va fi instalat pe un vehicul pentru a aborda scenarii reale.

Meritul proiectului constă în faptul că au fost utilizate și combinate o mare varietate de cunoștințe din diferite domenii, pentru a propune un produs / sistem care să crească siguranța tuturor participanților la trafic. Testele efectuate dovedesc valoarea și aplicabilitatea ideilor, algoritmilor și principiilor implementate în lucrare. Cercetarea prezentată reprezintă un punct de plecare pentru cei care dezvoltă sisteme anti-orbire și oferă o bună înțelegere a acestui subiect. În afară de avantajele industriale, această cercetare poate fi folosită și în activități didactice, arătând elevilor/studentilor cum să aplice cunoștințele teoretice pentru a rezolva o problemă din viața reală.

## 7 CONCLUZII FINALE

Domeniul automotive, la fel ca multe alte domenii, a înregistrat un progres remarcabil în ultimele decenii, datorat în principal dezvoltării tehnologice, iar dacă ne referim la cel mai recent fenomen tehnologic, digitalizarea, acesta va schimba din temelii și această industrie. În momentul de față ne aflăm la începutul unei noi ere pentru industria automotive, care în următoarele două-trei decenii va fi complet diferită față de felul în care arată astăzi. În acest domeniu se vorbește intens despre trei mega-trenduri care vor revoluționa industria și anume conectivitatea, electrificarea și mașina autonomă. Toate aceste megatrenduri vin cu mari provocări pentru cercetătorii și dezvoltatorii din domeniu; în cercetarea de față este analizată o problemă actuală, dar care va fi de mare interes și în viitor, mai ales dacă vorbim despre autovehiculele autonome, și se referă la problema vizibilității în diferite condiții meteo. A fost analizată problema cauzată de ceață asupra vizibilității dar și de strălucirea orbitoare cauzată de razele solare și de farurile celorlalți participanți la trafic, în condiții nocturne. Cum am menționat și mai sus, aceste fenomene cauzează mari dificultăți șoferilor astăzi, dar ele vor impacta și vehiculele autonome care trebuie să identifice semnele de circulație, marcajele rutiere, pietonii sau alte obiecte ce apar pe carosabil, în vederea luării deciziilor necesare.

Principalele obiective ale acestei cercetări, pentru rezolvarea problemei de vizibilitate, dezvoltate și rezolvate pe parcursul tezei, au fost:

- (i) realizarea unui model experimental, în laborator, care să permită studiul și experimentele, în condiții de repetabilitate, a tehnicilor și metodelor (existente și noi propuse de autor) pentru estimarea vizibilității în condiții de ceață;
- (ii) elaborarea unei soluții practice, un sistem colaborativ - prin care conducătorii auto, ori autovehiculele autonome sunt informați de condițiile de vizibilitate care să conducă la creșterea siguranței traficului rutier;
- (iii) evitarea orbirii șoferului, datorată strălucirii soarelui, prin introducerea unui sistem de parasolar dynamic, digital – posibil de realizat pe viitor, ca alternativă la soluția bazată pe tehnologia "smart glass".

În continuare se vor prezenta contribuțiile aduse pentru fiecare dintre cele trei obiective stabilite:

- (i) Pentru primul obiectiv s-au prezentat două modele experimentale:
  - primul, de dimensiuni 100cm x 30cm x 60cm (Lxlxh) în care s-au realizat experimente ce nu au necesitat o distanță mare de măsurare (capitolul 5.3.1) dar și pentru realizarea unei perdele înguste de ceață, de doar 30cm (capitolul 5.4.1);
  - cel de-al doilea, de dimensiuni 300cm x 48cm x 47cm (Lxlxh), în care să se poată realiza analogia între rezultatele oferite de sistemul automat și acuitatea vizuală a unor observatori umani respectând cerințele oftalmologice (capitolul 5.4.1)

Dacă în cazul primului model experimental măsurarea acuității vizuale s-a realizat prin dimensionarea tabelii cu optotipuri pentru o distanță de un metru, în cel de-al doilea experiment s-a utilizat un optotip standard, folosit în cabinetele de oftalmologie, distanța necesară pentru observare fiind de trei metri.

Principalele cerințe ce au stat la baza realizării celui de-al doilea model experimental au fost ([106]):

- Oferirea posibilității de a realiza diferite condiții de ceață;
- Flexibilitate în testarea metodelor din ambele categorii descrise în capitolul 3, îmbunătățirea vizibilității și detectarea ceții;
- Îndeplinirea cerințelor oftalmologice pentru măsurarea acuității vizuale;

(ii) Pentru cel de-al doilea obiectiv, în vederea propunerii unui sistem fiabil spre a fi utilizat pe drumurile publice, s-au experimentat și testat diferite metode din ambele categorii enunțate în capitolul 3, detecția ceții respectiv îmbunătățirea vizibilității:

- Absorbția fasciculului laser în ceață monitorizată cu o camera video (modelul experimental de 100 cm), prezentată în capitolul 5.1;

Sistemul experimental prezentat în capitolul 5.1, bazat pe absorbția fasciculului laser arată capabilitatea metodei de a estima distanța de vizibilitate în condiții de ceață, iar pe baza acestei informații se recomandă șoferilor o viteză propice pentru condițiile meteo specifice, pe panourile indicatoare sau direct pe un dispozitiv mobil al acestora, astfel încât să fie capabili să oprească mașina în condiții de siguranță în caz de nevoie;

Costurile de instalare a unui astfel de sistemului nu ar fi foarte ridicate având în vedere simplitatea acestuia, fiind format dintr-un dispozitiv laser, o cameră și un dispozitiv de prelucrare al acestor date și transmitere către o rețea de telefonie.

- Dispersia fasciculului laser în ceață monitorizată cu o camera video (modelul experimental de 100 cm) prezentată în capitolul 5.2;

Folosind imaginile de intrare de la experimentul anterior (capitolul 5.1) s-a analizat dispersia fasciculului laser într-un mediu cețos. O astfel de abordare, de estimare a densității ceții bazată pe dispersia luminii și evaluarea aureolei, poate fi folosită atât în cazul unui sistem staționar cum este cel prezentat în subcapitolul 5.1, cât și în cazul unui sistem mobil, și anume evaluarea dispersiei luminii farurilor aurovehiculelor în condiții de ceață.

- Analiza influenței ceții asupra puterii optice a diferitelor surse de lumină (LED, Laser) și corelarea cu acuitatea vizuală (modelul experimental de 100 cm) prezentată în capitolul 5.3;

Prima sursă de lumină analizată a fost LED-ul, iar după evaluarea formei fasciculului în diferite nivele de ceață am concluzionat faptul că pentru condiții de ceață redusă, comportamentul e același ca și pentru condiții fără ceață, dar folosind doar jumătate din puterea la intrare. Mergând pe același principiu și pentru celelalte nivele de ceață s-a observat că ceața moderată reprezintă o cincime, în timp ce ceața densă reprezintă o zecime din puterea de intrare optică în condiții fără ceață, pentru a obține același rezultat la ieșire după parcurgerea stratului de ceață.

Fasciculul sursei laser a fost monitorizat cu ajutorul unui dispozitiv de măsurare a puterii optice (Newport Power Meter Model 1918-c) și s-a realizat o conexiune între nivelele de ceață și puterea la ieșirea sursei, variind puterea de intrarea acestuia. Puterea optică oferită de dispozitivul laser este de trei ori mai mare decât cea oferită de un LED la o putere de intrare maximă de 100mW, dar ea scade brusc la puterea de intrare sub 65mW.

O altă concluzie este faptul că ceața nu influențează lumina laser la fel de mult ca în cazul LED-ului. În urma acestor experimente s-a dovedit faptul că ceața se poate împărți în diferite categorii doar evaluând intrările și ieșirile unei surse de lumină.

Un pas extrem de important al experimentului de față a fost acela de a demonstra că rezultatele înregistrate în urma experimentelor sunt valabile/valide pentru o ființă umană. Astfel folosind tabela cu optotipuri, redimensionată pentru distanța de un metru, a fost realizată o legătură între nivelele de ceață și acuitatea vizuală.

Dacă principiile enumerate mai sus vor fi folosite într-un singur sistem, acesta poate determina distanța de vizibilitate în condiții de ceață bazată pe cerințele medicale: după obținerea rezultatelor de la evaluatorul sursei de lumină, sistemul indică un nivel de ceață care este apoi "tradus" într-un domeniu (distanță) de vizualizare pe baza pragurilor determinate cu tabela oculară.

Aceste principii pot fi folosite pentru dezvoltarea sistemelor staționare (instalate în "puncte fierbinți" și capabil să informeze conducătorii auto despre condițiile meteorologice prin transmiterea de notificări) și sistemelor mobile (instalate în/pe vehicul) doar calibrând sursele de lumină utilizate pentru sistemul respectiv.

- Analiza influenței ceții asupra unui fascicul laser (transmisie directă) și corelarea cu acuitatea vizuală prezentată în capitolul 5.4.2.1;

În ambele modele experimentale prezentate mai sus au fost generate diferite nivele de ceață, între 0,5g de lichid (nivel redus de ceață) și 2g de lichid (ceață densă), fiecare experiment fiind repetat de trei ori pentru confirmarea rezultatelor. Experimentele au fost monitorizate tot timpul cu o cameră care a înregistrat dispersia fascicului laser la trecerea prin ceață (puterea optică a fost de asemenea monitorizată) și vizibilitatea optotipurilor în condiții de ceață (Fig. 5.28 și Fig. 5.29).

După aceste experimente s-a concluzionat că trebuie luate în considerare atât densitatea ceții, cât și grosimea stratului acesteia. Pentru o densitate mare a ceții ( $11.1 \text{ g/m}^3$ ), dar cu o grosime de numai 30 cm, au fost obținute aceleași rezultate ca și pentru o densitate mai mică a ceții ( $3.47 \text{ g/m}^3$ ) dar cu o grosime mai mare, de 3 metri (vezi tab. 8 și tab. 9). Acest lucru se întâmplă deoarece fasciculul laser întâlnește același număr de particule de ceață pe traseul spre receptorul optic. Legat de acuitatea vizuală, rezultatele au fost corelate cu cele obținute pentru măsurarea puterii optice.

- Analiza influenței ceții asupra unor dispozitive bazate pe dispersia retrogradă – Telemetru și Lidar (modelul experimental de 300 cm) prezentată în capitolul 5.4.2.2; Comportamentul celor două dispozitive, în condiții de ceață diferă extrem de mult: telemetrul oferă rezultate corecte până la o anumită densitate a ceții, moment în care nu mai este capabil să ofere niciun rezultat (perceput de dispozitiv ca distanță mai mare de 40m), returnând în acest caz fie eroare, fie indicând distanța până la norul de ceață (fig. 5.38); de cealaltă parte, măsurătorile lidarului sunt impactate de particulele de ceață din primele momente în care acestea apar în încăperea, dar este totuși capabil să ofere rezultate la densități foarte mari ale ceții, distanțele indicate de dispozitiv scăzând pe măsură ce densitatea ceții crește. Una dintre cauze obținerii acestor rezultate ar fi lungimile de undă pe care funcționează cele două dispozitive, lidarul având o lungime de undă mai mare (905nm) față de telemetru (632nm) ceea ce face ca undele transmise de acesta să fie mai puțin impactate de particulele de ceață.

Ca și concluzie a acestor măsurători, lidarul pare potrivit spre a fi utilizat într-un sistem mai complex de detecție a ceții, undele sale fiind capabile să se reflecte din ceață, chiar și la o densitate mai ridicată, în timp de telemetrul se dovedește complet inutil în condiții de ceață densă.

- Influența dimensiunilor particulelor de ceață asupra surselor de lumină și a vizibilității prezentată în capitolul 5.4.2.3;

Cu ajutorul unui microscop s-au analizat particulele de ceață generate, din mai multe puncte de vedere, cum ar fi: aria fiecărei particule, factorul de formă („shape factor”), raportul de aspect („aspect ratio”) dar și încadrarea particulelor în diferite clase în funcție de caracteristicile descrise mai sus; pasul următor a fost acela de a determina matematic influența dispersiei și absorbției particulelor asupra fasciculului laser, folosind metoda dispersiei Mie; s-a concluzionat faptul că vizibilitatea este mai puternic impactată atunci când există o densitate mai mare de particule de dimensiuni mai mici, din cauza mișcării lor în mediu; datorită mișcării browniene, turbulenței și gravitației are loc coliziunea dintre particule ceea ce duce la o îmbunătățire a vizibilității, respectiv o reducere a impactului ceții asupra sursei de lumină.

Pe baza tuturor acestor date, se propune un model de identificare a atenuării puterii optice la o distanță specifică, prin extrapolarea valorilor obținute în laborator pentru o distanță de trei metri, la distanțe mult mai mari. Coeficientul total de atenuare la o distanță specifică  $x$  ( $\mu x$ ) poate fi calculat prin înmulțirea coeficientului mediu de atenuare al unei secțiuni din fascicul cu numărul de secțiuni raportat la distanța de observare dorită. Mergând mai departe, se poate estima distanța de vizibilitate, pe baza teoriei proiectării unei diagrame oculare (tabel cu optotipuri) - distanța de observare trebuie să fie de 68,75 ori mai mare decât cel mai mare optotip din diagramă. Așa cum s-a menționat anterior, ținta ar fi cel de-al cincilea rând, acesta fiind de cinci ori mai mic decât cel mai mare optotip din grafic; acest lucru conduce la afirmație, cum că distanța de observare este de 13,75 ori mai mare decât obiectul care urmează să fie observat (de exemplu, semnele rutiere, acestea având dimensiuni standard) pentru cazul în care se disting inclusiv detaliile acestui obiect, respective 68.75 ori mai mare pentru o observare mai puțin clară a unui astfel de obiect.

Principiile menționate mai sus și sumarizate în tabelul 12 sunt foarte utile pentru proiectarea unui sistem staționar, instalat în apropierea unei autostrăzi sau a unui drum expres, cunoscând distanța dintre echipamente și având ca obiective identificarea condițiilor meteorologice nefavorabile, estimarea unei distanțe de vizibilitate și notificarea conducătorii auto (vezi fig. 5.53). Mai apoi aceste principii pot fi utilizate chiar și în proiectarea unui sistem mobil de detectare a ceții și estimare a distanței de vizibilitate.

- Eliminarea ceții din imagini aplicând diferiți algoritmi de procesare de imagini prezentați în capitolul 5.4.2.4;

Imaginile de intrare pentru acest experiment s-au realizat în model experimental numărul doi, modificat astfel încât să permită simularea unei scene de trafic reale, prin redimensionarea tuturor obiectelor din scenă (marcaje rutiere, vehicule și pietoni) la o scară 1:17.5; în acest model s-au creat diferite condiții de ceață, monitorizate cu ajutorul unei camera, iar apoi s-a încercat eliminarea ceții din imagini utilizând mai mulți algoritmi de prelucrare de imagini; cele mai bune rezultate, dintre metodele testate, le-a înregistrat metoda „Dark Channel Prior”.

- Nou sistem pentru creșterea siguranței auto în condiții de ceață prezentat în capitolul 5.5;

Obiectivul final al acestor experimente a fost de a prezenta un sistem fiabil, care poate fi utilizat pe drumurile publice pentru a ajuta șoferii sau sistemul autonom în condiții meteorologice nefavorabile. Propunerea de sistem pentru estimarea vizibilității, rezultată în urma consultării publicațiilor în domeniu și propriei analize experimentale, constă dintr-o combinație de senzori – unul staționar, montat în apropierea drumurilor publice, care să estimeze vizibilitatea prin măsurători optice - și o camera video împreună cu un lidar, instalate pe vehicule. Sincronizarea acestor sisteme ar duce la creșterea siguranței pe drumurile publice în condiții meteo nefavorabile. Sistemul staționar va măsura densitatea ceții ținând cont de nivelul reducerii puterii optice, iar pe baza acestei informații va putea estima o distanță de vizibilitate; aceste rezultate vor fi transmise ulterior către vehicule. Camera video, aflată la bordul mașinii, va detecta semnele de circulație, marcasele rutiere, pietonii sau alți participanți la trafic, în timp ce lidarul va veni în completare prin detecția posibilelor obstacole din fața vehiculului, dar va oferi și o estimare a vizibilității - în cazul condițiilor de ceață.

Adunând informațiile de la toți acești senzori, sistemul central al vehiculului poate notifica șoferii despre potențiale pericole, dar poate lua și autonom măsuri precum reducerea vitezei sau frânare a autovehiculului în caz de pericol. În figura 5.53 este prezentată propunerea de sistem descrisă.

- (iii) Pentru cel de-al treilea obiectiv, referitor la propunerea unui sistem capabil să elimine efectul de orbire cauzat de Soare s-a analizat stadiul actual al domeniului, s-a propus un sistem expus mai departe printr-o serie de simulări (capitolul 6)

Sistemul propus este capabil să protejeze șoferul împotriva orbirii cauzate de razele soarelui, indiferent de zona unde razele întâlnesc parbrizul, și este de asemenea, rezonabil din punct de vedere al costurilor, deoarece echipamentele din structura sa sunt deja folosite pe vehiculele actuale, se dorește doar o utilizare a acestora cu scopul de a obține noi funcționalități: cu ajutorul sistemului unor senzori, de lumină și de detecție a poziției Soarelui, se detectează poziția acestuia din urmă și intensitatea razelor (un sistem mai ieftin dar nu atât de precis s-ar putea baza pe un GPS), cu sistemul de urmărire a ochilor se indică poziția șoferului și cu ajutorul unui dispozitiv head-up display, se proiectează o imagine/pată pe parbriz în zona deranjantă, pentru atenuarea efectului de strălucire. Mai mult, prin utilizarea aceluiași principii expuse mai sus, sistemul poate fi îmbunătățit astfel încât să devină util și pentru orbirea cauzată de farurile celorlalți participanți la trafic.

De asemenea a fost prezentat un studiu privind aplicabilitatea și beneficiile unui sistem anti-orbire. Mai multe scenarii de test au fost probate folosind simulări MATLAB pentru a confirma capacitatea de utilizare a unui astfel de sistem. În viitor, mediul de simulare se va înlocui cu un prototip real care poate fi testat într-un laborator iar apoi prototipul va fi instalat pe un vehicul pentru a aborda scenariu real.

Rezultatele cercetărilor au fost validate prin publicarea unui număr de 9 lucrări științifice dintre care 7 în domeniul tezei, prezentate la conferințe internaționale de prestigiu și jurnale, 6 lucrări fiind indexate în Web of Science. Două dintre lucrări sunt premergătoare subiectului tezei. Autorul are un brevet de invenție în domeniu automotive

<https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=7&ND=3&adjacent=true&locale=en EP&FT=D&date=20180411&CC=EP&NR=3305580A1&KC=A1>  
) și 2 lucrări în tematica tezei în curs de publicare în jurnale.

Lucrările publicate în calitate de autor/coautor, aferente temei de cercetare, sunt referite în textul tezei și indicate la secțiunea Bibliografie.



## 8 REFERINȚE

- [1] N. National Service Center for Environmental Publications, „Protecting Visibility an EPA Report to Congress,” 1979.
- [2] W. Middleton, „Vision through the atmosphere,” University of Toronto Press, 1952.
- [3] I. International Electrotechnical Commission, „IEV ref 845-02-43,” 1987.
- [4] G. Galati, I. Dalmaso, G. Pavan și G. Brogi, „Fog Detection Using Airport Radar,” în *International Radar Symposium, (IRS 2006).*, 2006.
- [5] X. Wu și S. Li, „Automatic Fog Detection over Chinese adjacent oceans using Terra/MODIS data,” în *International Journal of Remote Sensing, vol 35,* 2014.
- [6] H. Chaabani, F. Kamoun, H. Bargaoui, F. Outay și A.-U.-H. Yasar, „A Neural network approach to visibility range estimation under foggy weather conditions,” *Procedia Computer Science,* vol. 113, pp. 466-471, 2017.
- [7] F. H. A. U.S. Department of Transportation, „Highway Fog Warning System,” Intelligent Transportation Systems (ITS), 1999.
- [8] N. David, P. Alpert și H. Messer, „Novel method for fog monitoring using cellular networks infrastructures,” în *Athmospheric Measurement Techniques Discussions,* 2012.
- [9] R. Miclea, I. Silea și F. Sandru, „Digital Sunshade Using Head-up Display,” în *Soft Computing Applications (SOFA 2016) - Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 633. Springer, Cham,* 2016.
- [10] V.-I. Ungureanu, R.-C. Miclea, A. Korodi și I. Silea, „A Novel Approach against Sun Glare to Enhance Driver Safety,” *Applied Science,* vol. 10, nr. 9, 2020.
- [11] D. Cline și H. Hofstetter, *Dictionary of Visual Science.* 4th ed, Griffin JR, eds. Boston, MA: Butterworth-Heinemann;, 1997.
- [12] W. Stiles, „The effect of glare on the Brightness Difference Threshold,” *In Proceedings of the Royal Society of London, Series B,* vol. Vol. 104, nr. No. 731, p. 322–355, 1929.
- [13] M. Mace, P. Garvey, R. Porter, R. Schwab și W. Adrian, „Countermeasures for Reducing the Effects of Headlight Glare,” In American Automobile Association Foundation for Traffic Safety, Washington D.C., 2001.
- [14] W. Santariano, K. MacLeod și T. Cohn, „Problems With Vision Associated With Limitations or Avoidance of Driving in Older Populations,” *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences,* vol. 59, nr. 5, pp. 281-286, 2004.
- [15] J. Heeuwes, J. Alferdinck și W. Johan, „The relation between discomfort glare and driving behavior,” U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, (Report No. DOT HS 808 452), pp. 1-64, Washington, D.C., 1996.

- [16] J. Theeuwes, J. Alferdinck și M. Perel, „Relation Between Glare and Driving Performance,” *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. Volume 44, nr. No 1, pp. pp. 95-107, 2002.
- [17] M. Babizhayev, „Glare Disability and Driving Safety,” *Ophthalmic Research*, vol. Vol. 35, nr. No. 1, pp. pp.19-25, 2003.
- [18] F. Schieber, „Age and glare recovery time for low-contrast stimuli,” în *Human Factors and Ergonomics Society*, 1994.
- [19] J. Michalsky, „The astronomical almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050),” *Solar Energy*, vol. vol. 40, nr. No. 3, pp. pp. 227-235, 1988.
- [20] M. Blanco-Muriel, D. Alarcón-Padilla, L.-M. T. și M. Lara-Coira, „Computing the solar vector,” *Solar Energy*, vol. Volume 70, nr. Issue 5, pp. Pages 431-441, 2001.
- [21] I. Reda și A. Andreas, „Solar position algorithm for solar radiation applications,” *Solar Energy*, vol. Volume 76, nr. Issue 5, pp. Pages 577-589, 2004..
- [22] J. Giesen, „JavaScript Sun Calculator,” [Interactiv]. Available: <http://www.jgiesen.de/astro/astroJS/riseset/index.htm>.
- [23] R. U.S. Government Printing Office, „The Astronomical Almanac,” 1994.
- [24] J. Duffie și W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition, 2013.
- [25] R. H. Plante, *Simple Solar Basics, Solar Energy, Photovoltaics, and Domestic Hot Water*, 2014.
- [26] S. A. Kalogirou, *Environmental Characteristics, Solar Energy Engineering (Second Edition)*, 2014.
- [27] D. Aubert, V. Boucher, R. Brémond, P. Charbonnier, A. Cord, E. Dumont, P. Foucher, F. Fournela, F. Greffier, D. Gruyer, N. Hautière, V. Muzet, P. Nicolle și J.-P. Tarel, „Digital imaging for assessing and improving highway visibility,” în *Transport Research Arena , Paris*, 2014.
- [28] A. Rajagopalan și R. Chellappa, „Motion Deblurring Algorithms and Systems,” în *Cambridge University Press*, 2014.
- [29] A. Palvanov, A. Giyenko și Y. I. Cho, „Development of Visibility Expectation System Based on Machine Learning,” *Computer Information Systems and Industrial Management*, pp. 140 - 153, 2018.
- [30] L. Yang, R. Mureasan, A. Al-Dweik și a. L. J. Hadjileontiadis, „Image-Based Visibility Estimation Algorithm for Intelligent Transportation Systems,” *IEEE Access* , vol. 6, pp. 76728 - 76740, 2018.
- [31] I. Silea, R. Miclea și F. Alexa, „System for Visibility Distance Estimation in Fog Conditions based on Light Sources and Visual Acuity,” în *EEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*, 2016.
- [32] L. Ovsenik, J. Turan, P. Misenic, J. Bito și L. Csurgai-Horvathi, „Fog Density Measuring System,” în *Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol. 12, No. 2, , 67–71, 2012.

- [33] D. Gruyer, A. Cord și R. Belaroussi, „Vehicle Detection and Tracking by Collaborative Fusion between Laser Scanner and Camera,” în *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2013.
- [34] D. Gruyer, A. Cord și R. Belaroussi, „Target-to-Track Collaborative Association Combining a Laser Scanner and a Camera,” în *16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2013.
- [35] C. Dannheim, C. Icking și M. Mäder, „Weather Detection in Vehicles by Means of Camera and LIDAR Systems,” în *Sixth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks*, 2014.
- [36] S. Chaurasia și B. S. Gohil, „Detection of Day Time Fog Over India Using INSAT-3D Data,” în *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2015.
- [37] J. Levinson, J. Askeland, J. Becker, J. Dolson, D. Held, S. Kammel, J. Z. Kolter, D. Langer, O. Pink, V. Pratt, M. Sokolsky, G. Stanek, D. Stavens, A. Teichman, M. Werling și S. Thrun, „Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms,” în *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2011.
- [38] I. Jegham și A. B. Khalifa, „Pedestrian Detection in Poor Weather Conditions Using Moving Camera,” în *IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, 2017.
- [39] X. Dai, X. Yuan, J. Zhang și L. Zhang, „Improving the performance of vehicle detection system in bad weathers,” în *IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, 2016.
- [40] J. P. Tarel și N. Hautiere, „Fast visibility restoration from a single color or gray level image,” în *IEEE International Conference on Computer Vision (pp. 2201-2208)*, 2009.
- [41] S. Narasimhan și S. Nayar, „Contrast Restoration of Weather Degraded Images,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, nr. 6, pp. 713-724, 2003.
- [42] H. Koschmieder, *Theorie der horizontalen sichtweite, Beitrage zur Physik der freien Atmosphere*, 1924.
- [43] N. Hautiere, R. Labayrade și D. Aubert, „Real-time disparity contrast combination for onboard estimation of the visibility distance,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, nr. 2, 2006.
- [44] N. Hautiere, J. Tarel, J. Lavenant și D. Aubert, „Automatic Fog Detection and Estimation of Visibility Distance through use of an Onboard Camera,” în *Machine Vision and Applications*, vol 17, 2006.
- [45] N. Hautiere, J.-P. Tarel și D. Aubert, „Towards Fog-Free In-Vehicle Vision Systems through Contrast Restoration,” *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007.
- [46] J.-P. Tarel, N. Hautiere, L. Caraffa, A. Cord, H. Halmaoui și D. Gruyer, „Vision enhancement in homogeneous and heterogeneous fog,” în *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, vol. 4, no. 2, pp. 6–20, 2012.

- [47] N. Hautière, J.-P. Tarel, H. Halmaoui, R. Brémond și D. Aubert, „Enhanced fog detection and free-space segmentation for car navigation,” *Machine Vision and Applications*, vol. 25, nr. 3, pp. 667-679, 2014.
- [48] M. Negru și S. Nedevschi, „Image based fog detection and visibility estimation for driving assistance systems,” în *Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, *IEEE International Conference on*. pp. 163-168., 2013.
- [49] M. Negru și S. Nedevschi, „Assisting Navigation in Homogenous Fog,” în *Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, *International Conference on*, 2014.
- [50] M. Negru, S. Nedevschi și R. I. Peter, „Exponential Contrast Restoration in Fog Conditions for Driving Assistance,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, nr. 4, pp. 2257 - 2268, 2015.
- [51] M. J. Abbaspour, M. Yazdi și M. Masnadi-shirazi, „A new fast method for foggy image enhancement,” în *Electrical Engineering (ICEE)*, *24th Iranian Conference on*, 2016.
- [52] Y. Y. Liao, S. C. Tai, J. S. Lin și P. J. Liu, „Degradation of turbid images based on the adaptive logarithmic algorithm,” în *Computers & Mathematics with Applications (Vol. 64, No. 5, pp.1259-1269)*, 2012.
- [53] H. Halmaoui, K. Joulan, N. Hautière, A. Cord și R. Brémond, „Quantitative model of the driver’s reaction time during daytime fog – application to a head up display-based advanced driver assistance system,” în *IET Intelligent Transport Systems ( Volume: 9, Issue: 4, 5 2015)*, pg 375 - 381, 2015.
- [54] K. He, J. Sun și X. Tang, „Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior,” în *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (Volume: 33, Issue: 12, Dec. 2011)*, 2011.
- [55] C. Yeh, L.-W. Kang, M. Lee și C. Lin, „Efficient image/video dehazing through haze density analysis based on pixel-based dark channel prior,” în *International Conference on Information Security and Intelligent Control*, 2012.
- [56] C. Yeh, L.-W. Kang, M. Lee și C. Lin, „Haze Effect Removal from Image via Haze Density estimation in Optical Model,” în *Opt. Express 21(22)*, 27127-27141, 2013.
- [57] R. Tan, „Visibility in bad weather from a single image,” în *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Anchorage, Alaska, USA, 2008)*, pp. 1-8., 2008.
- [58] R. Fattal, „Single image dehazing,” în *ACM Trans. Graph.* 27(3), 1-9 , 2008.
- [59] S.-C. Huang, B.-H. Chen și W.-J. Wang, „Visibility Restoration of Single Hazy Images Captured in Real-World Weather Conditions,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 24, nr. 10, pp. 1814 - 1824, 2014.
- [60] Z. Wang și Y. Feng, „Fast single haze image enhancement,” în *Computers & Electrical Engineering (Vol. 40, No. 3, pp. 785-795)*, 2014.

- [61] Y.-Q. Zhang, Y. Ding, J.-S. Xiao, J. Liu și Z. Guo, „Visibility enhancement using an image filtering approach,” în *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2012.
- [62] J.-P. Tarel, N. Hautière, A. Cord, D. Gruyer și H. Halmaoui, „Improved visibility of road scene images under heterogeneous fog,” *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2010.
- [63] R. Wang și X. Yang, „A fast method of foggy image enhancement,” în *IEEE International Conference on Measurement, Information and Control (MIC)*, Harbin, 2012.
- [64] J. H. Kim, W. D. Jang, J. Y. Sim și C. S. Kim, „Optimized contrast enhancement for real-time image and video dehazing,” în *Journal of Visual Communication and Image Representation (Vol. 24, No. 3, pp. 410-425)*, 2013.
- [65] Q. Zhu, J. Mai, Z. Song, D. Wu, J. Wang și L. Wang, „Mean Shift-Based Single Image Dehazing with Re-refined Transmission Map,” în *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2014.
- [66] K. He, J. Sun și X. Tang, „Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior,” în *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (Volume: 33, Issue: 12, Dec. 2011)*, 2011.
- [67] K. He, J. Sun și X. Tang, „Guided image filtering,” în *IEEE Trans. on PAMI.*, vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, 2013.
- [68] D. Das, K. Roy, S. Basak și S. S. Chaudhury, „Visibility Enhancement in a Foggy Road Along with Road Boundary Detection,” în *Proceedings of 3rd International Conference on Advanced Computing, Networking and Informatics pp 125-135*, 2015.
- [69] H. Yuan, C. Liu, Z. Guo și Z. Sun, „A Region-Wised Medium Transmission Based Image Dehazing Method,” în *IEEE Access (Volume: 5) pg 1735-1742*, 2017.
- [70] Y. Zhu, J. Liu și Y. Hao, „A single image dehazing algorithm using sky detection and segmentation,” în *IEEE Int. Congr. Image Signal Process. (CISP)*, pp. 248-252., Dalian, China, 2014.
- [71] D. Gangodkar, P. Kumar și A. Mittal, „Robust Segmentation of Moving Vehicles Under Complex Outdoor Conditions,” în *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems ( Volume: 13, Issue: 4, Dec. 2012 )*, 2012.
- [72] T. S. Kumar și S. Pavva, „Segmentation of visual images under complex outdoor conditions,” în *Communications and Signal Processing (ICCSP), International Conference on*, 2014.
- [73] Z. Yuan, X. Xie, J. Hu, Y. Zhang și D. Yao, „An Effective Method for Fog-degraded Traffic Image Enhancement,” în *Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), IEEE International Conference on*, 2014.
- [74] B.-f. Wu și J.-H. Juang, „Adaptive vehicle detector approach for complex environments,” în *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, vol. 13, no. 2, 2012.

- [75] D. Cireşan, M. U. J. Masci și J. Schmidhuber, „Multi-column deep neural network for traffic sign classification,” *Neural networks*, vol. 32, pp. 333-338, 2012.
- [76] F. Hussain și J. Jeong, „Visibility Enhancement of Scene Images Degraded by Foggy Weather Conditions with Deep Neural Networks,” *Journal of Sensors*, 2015.
- [77] G. Singh și A. Singh, „Object Detection in Fog Degraded Images,” *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, vol. 16, nr. 8, 2018.
- [78] Y. I. Cho și A. Palvanov, „A New Machine Learning Algorithm for Weather Visibility,” *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, vol. 6, pp. 12-17, 2019.
- [79] S. G. Narasimhan și S. K. Nayar, „Vision and the Atmosphere,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 48, nr. 3, p. 233-254, 2001.
- [80] E. J. McCartney, *Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1976.
- [81] J. Pesek și O. Fiser, „Automatically low clouds or fog detection, based on two visibility meters and FSO,” în *13th Conference on Microwave Techniques COMITE 2013, April 17-18, Pardubice, Czech Republic*, 2013.
- [82] V. Brazda, O. Fiser și L. Rejtek, „Development of system for measuring visibility along the free space optical link using digital camera,” în *Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 24th International Conference, Bratislava, Slovakia*, 2014.
- [83] V. Brazda și O. Fiser, „Estimation of fog drop size distribution based on meteorological measurement,” în *Microwave Techniques (COMITE), Conference on*, 2015.
- [84] L. Ovseník, J. Turán, M. Tatarko, M. Turán și J. Vásárhelyi, „Fog sensor system: Design and measurement,” în *Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 2012.
- [85] P. Sallis, C. Dannheim, C. Icking și M. Mäder, „Air Pollution and Fog Detection through Vehicular Sensors,” în *8th Asia Modelling Symposium*, 2014.
- [86] M. Pavlic, H. Belzner, G. Rigoll și S. Ilic, „Image based fog detection in vehicles,” în *IEEE Intelligent Vehicles Symposium pp. 1132-1137*, 2012.
- [87] M. Pavlic, G. Rigoll și I. S., „Classification of images in fog and fog-free scenes for use in vehicles,” în *Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE*, 2013.
- [88] R. Spinneker, C. Koch, S.-B. Park și J. J. Yoon, „Fast Fog Detection for Camera Based Advanced Driver Assistance Systems,” în *Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE 17th International Conference on*, 2014.
- [89] R. Asery, R. K. Sunkaria, L. Dev Sharma și A. Kumar, „Fog Detection using GLCM based Features and SVM,” în *Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, 2016.
- [90] D. Zhang, T. Sullivan, N. E. O’Connor, R. Gillespie și F. Regan, „Coastal fog detection using visual sensing,” în *OCEANS, Genova*, 2015.

- [91] S. Alami, A. Ezzine și F. Elhassouni, „Local Fog Detection based on Saturation and,” în *13th International Conference Computer Graphics, Imaging and Visualization*, 2016.
- [92] R. Gallen, A. Cord, N. Hautière și D. Aubert, „Method and device for detecting fog at night”. Versailles, France Brevet WO 2 012 042 171 A2, Apr 2012.
- [93] R. Gallen, A. Cord și N. Hautière, „Night time visibility analysis and estimation method in the presence of dense fog,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, nr. 1, pp. 310 - 320, 2015.
- [94] G. A. Pagani, J. W. Noteboom și W. Wauben, „Deep Neural Network approach for automatic fog detection,” în *CIMO TECO*, Amsterdam, 2018.
- [95] S. Li, H. Fu și W.-L. Lo, „Meteorological Visibility Evaluation on Webcam Weather Image Using Deep Learning Features,” *International Journal of Computer Theory and Engineering*, vol. 9, nr. 6, 2017.
- [96] R. Gopalan, T. Hong, M. Shneier și R. Chellappa, „A Learning Approach Towards Detection and Tracking of Lane Markings,” în *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems ( Volume: 13, Issue: 3, Sept. 2012 )*, 2012.
- [97] N. Joshy și D. Jose, „Improved detection and tracking of lane marking using hough transform,” în *IJCSMC 3(8)*, 507–513, 2014.
- [98] R. Gallen, N. Hautière, A. Cord și S. Glaser, „Supporting drivers in keeping safe speed in adverse weather conditions by mitigating the risk level,” în *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 2013.
- [99] J. F. Coloma, M. García, Y. Wang și A. Monzón, „Green Eco-Driving Effects in Non-Congested Cities,” în *Sustainability, Volume 10, Issue 1*, 2018.
- [100] Y. Li, P. Hoogeboom și H. Russchenberg, „Radar Observations and Modeling of Fog At 35 GHz,” în *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2014.
- [101] R. Miclea și I. Silea, „Visibility Detection in Foggy Environment,” în *Control Systems and Computer Science 2015 20th International Conference, Bucharest 27-29 May 2015, pp 959-964*, 2015.
- [102] L. Li, H. Zhang, C. Zhao și X. Ding, „Radiation Fog Detection and Warning System of Highway Based on Wireless Sensor Networks,” în *Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), IEEE 7th Joint International*, 2014.
- [103] J. Tóth, L. Ovseník și J. Turán, „Free Space Optics - Monitoring Setup for Experimental Link,” în *Carpathian Journal of Electronic & Computer Engineering . , Vol. 8 Issue 2, p27-30. 4p.*, 2015.
- [104] K. Tsubaki, „Measurements of fine-particle-size using the image processing of laser diffraction image,” în *20th Microoptics Conference (MOC'15), Fukuoka, Japan*, 2015.
- [105] K. Landwehr, E. Brendel și H. Hecht, „Luminance and contrast in visual perception of time to collision,” în *Vision Research 89*, 18-23, 2013.



- [106] R.-C. Miclea, I. Silea și C. Dughir, „Experimental Model for validation of anti-fog technologies,” în *Second International Scientific Conference on IT, Tourism, Economics, Management and Agriculture (ITEMA)*, pages 914-922, 2017.
- [107] A. Varhelyi, „Dynamic Speed Adaptation in adverse conditions,” în *IATSS Research*, vol. 40, pp. 52–59, 2002.
- [108] N. H. T. S. A. U.S. Department of Transportation, „Traffic Safety Facts - Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey,” National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2015.
- [109] L. Ulrich, „Whiter brights with lasers,” în *Spectrum IEEE*, Volume 50, 2013.
- [110] T. E. W. Schumann, „Theoretical aspects of the size distribution of fog particles,” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, pp. 195 - 208, 2007.
- [111] C. F. Bohren și D. R. Huffman, Absorption and Scattering of Light by Small Particles, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1998.
- [112] D. Pomerleau, „Visibility Estimation from a Moving Vehicle Using the PALPH Vision System,” în *Intelligent Transportation Systems, ITCS '97., IEEE Conference on*, 1997.
- [113] S. Wu, C. Wen, H. Luo, Y. Chen, C. Wang și J. Li, „Using Mobile Lidar Point Clouds for Traffic Sign Detection and Sign Visibility Estimation,” în *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International*, Milan, 2015.
- [114] R. Sato, K. Doman, D. Deguchi și Y. Mekada, „Visibility Estimation on Traffic Signals under Rainy Weather Conditions for Smart Driving Support,” în *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 15th International IEEE Conference on*, Anchorage, 2012.
- [115] F. Elahi și M. Rahman, „Intelligent Windshield for Automotive Vehicles,” în *Computer and Information Technology (ICCIT), 17th International Conference on*, Dhaka, 2014.
- [116] C. CES2016 Continental Automotive Smart Glass. [Interactiv]. Available: <https://www.smartglass.com/continental/> . [Accesat 12 May 2016].
- [117] C. CES2017 Continental Automotive Smart Glass. [Interactiv]. Available: <https://www.continental.com/en/press/press-releases/2016-12-13-highlights-ces-101510>. [Accesat 3 March 2018].
- [118] Lumineq. [Interactiv]. Available: <https://www.lumineq.com/products/in-glass-laminated-displays>. [Accesat 12 February 2020].
- [119] 2. Bosch’s AI-Powered LCD Sun Visor Presented at CES, „<https://www.cnet.com/roadshow/news/bosch-virtual-car-sun-visor-ces-2020/>,” Bosch, 10 January 2020. [Interactiv]. Available: <https://www.cnet.com/roadshow/news/bosch-virtual-car-sun-visor-ces-2020/>. [Accesat 7 February 2020].
- [120] A. Meschtscherjakov, H. Scharfetter, S. Kernjak, N. Kratzer și J. Stadon, „Adaptive digital sunshade: Blocking the sun from blinding the driver,” în *Adjunct Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User*



*Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '15)*, Nottingham, 2015.

- [121] Alticast Corporation. [Interactiv]. Available: <http://www.alticast.com/main.html>. [Accesat 12 February 2020].
- [122] V. Viereck, J. Ackerman, Q. Li, A. Jaker, J. Schmid și H. Hillmer, „Sun Glasses for Buildings based on Micro Mirror Arrays: Technology, Controlled by Networked Sensors and Scaling Potential,” în *Network Sensing Systems, (INSS) 5th International Conference on*, Kanazawa, 2008.
- [123] I.-D. ISS-DX Solar Tracking Sensor. [Interactiv]. Available: [http://www.solar-mems.com/wp-content/uploads/2017/02/ISSDX\\_Technical\\_Specifications.pdf](http://www.solar-mems.com/wp-content/uploads/2017/02/ISSDX_Technical_Specifications.pdf). [Accesat 22 March 2016].
- [124] M. Ilyas, K. Cho, S. Park și S.-H. Baeg, „Absolute Navigation Information Estimation for Micro Planetary Rovers,” *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 13, nr. 2, 2016.
- [125] R. Newman, Y. Matsumoto, S. Rougeaux și A. Zelinsky, „Real-time stereo tracking for head pose and gaze estimation,” în *In Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (Cat. No. PR00580)*, Grenoble, France, 2000.
- [126] Smart Eye. [Interactiv]. Available: <https://smarteye.se/>. [Accesat 3 March 2020].
- [127] A. Dasgupta, A. George, S. Happy și A. Routray, „A Vision-Based System for Monitoring the Loss of Attention in Automotive Drivers,” în *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 2013.
- [128] H.-B. Kang, „Monitoring Driver’s State and Predicting Unsafe Driving Behavior,” în *Algorithm & SoC Design for Automotive Vision Systems, pag 143-161, Springer Science + Business Media*, Dordrecht, 2014.
- [129] S. Hurtado și S. Chiasson, „An Eye-tracking Evaluation of Driver Distraction and Unfamiliar Road Signs,” în *8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (Automotive’UI 16)*, Ann Arbor, MI, USA, 2016.
- [130] H. Venkataraman, M. Madhuri și R. Assfalg, „Deriving Pattern in Driver’s Observability in Road Turns & Traffic Lights: Eye-Tracking based Analysis,” în *1st International Workshop on Communication and Computing in Connected Vehicles and Platooning (C3VP '18)*, New Delhi, India, 2018.
- [131] A. Hong, J. Pelz și J. Cockburn, „Lightweight, low cost, side-mounted mobile eye tracking system,” în *Image Processing Workshop (WNYIPW)*, Western New York, 2012.
- [132] K. Ito, H. Nishimura și T. Ogi, „Head-up display for motorcycle navigation,” în *SIGGRAPH Asia 2015 Head-Up Displays and their Applications (SA '15)*, 2015.
- [133] T. Sato și M. Akamatsu, „Driving simulator study of driver behavior while using head-up display,” în *SIGGRAPH Asia 2015 Head-Up Displays and their Applications (SA '15)*, 2015.

- [134] K. Shinohara, „Psychological issues on visual attention while using head-up display,” în *SIGGRAPH Asia 2015 Head-Up Displays and their Applications (SA '15)*, 2015.
- [135] M. V. Charissis, „Evaluation of Prototype Automotive Head-up Display Interface: Testing Driver’s Focusing Ability through a VR Simulation,” în *Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Istanbul, 2007* .
- [136] T. Texas Instruments, „Enabling the next generation of Automotive Head-up Display Systems,” 2013.
- [137] F. Wientapper, H. Wuest, P. Rojtborg și D. Fellner, „A Camera-Based Calibration for Automotive Augmented Reality Head-Up-Displays,” în *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), IEEE International Symposium on, Adelaide, 2013*.
- [138] S. Nanu și R. Sumalan, „SOLAR IRRIGATION SYSTEM - Patent Number: RO130028-A2,” ROSENC CLUSTERUL ENERGII SUSTENABILE, 2015.
- [139] J. H. Kim, W. D. Jang, J. Y. Sim și C. S. Kim, „Optimized contrast enhancement for real-time image and video dehazing,” în *Journal of Visual Communication and Image Representation (Vol. 24, No. 3, pp. 410-425)*, 2013.
- [140] R. Wang și X. Yang, „A fast method of foggy image enhancement,” în *IEEE International Conference on Measurement, Information and Control (MIC), Harbin, 2012*.
- [141] Z. Wang și Y. Feng, „Fast single haze image enhancement,” în *Computers & Electrical Engineering (Vol. 40, No. 3, pp. 785-795)*, 2014.
- [142] C. Yeh, L.-W. Kang, M. Lee și C. Lin, „Efficient image/video dehazing through haze density analysis based on pixel-based dark channel prior,” în *International Conference on Information Security and Intelligent Control, 2012*.
- [143] C. Yeh, L.-W. Kang, M. Lee și C. Lin, „Haze Effect Removal from Image via Haze Density estimation in Optical Model,” în *Opt. Express 21(22), 27127–27141*, 2013.
- [144] Y.-Q. Zhang, Y. Ding, J.-S. Xiao, J. Liu și Z. Guo, „Visibility enhancement using an image filtering approach,” în *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2012*.