



**REPUBLIKA E SHQIPËRISË**  
**UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS**  
**FAKULTETI I TEKNOLOGJISË SË INFORMACIONIT**  
**DEPARTAMENTI I ELEKTRONIKËS DHE TELEKOMUNIKACIONIT**

# **DISERTACION**

**PROPOZIMI I TEKNIKAVE TË REJA INTELIGJENTE PËR  
INTEGRIMIN E VANET ME IoT DHE 5G PËR SMART CITIES**

**nga**

**ORJOLA JAUPI**

**PËR MARRJEN E GRADËS**

**“DOKTOR”**

**NË “TEKNOLOGJITË E INFORMACIONIT DHE KOMUNIKIMIT”**

**Udhëheqës shkencor**

**PROF. ASOC. EVJOLA SPAHO**

**Tiranë, 2026**

PROPOZIMI I TEKNIKAVE TË REJA INTELIGJENTE PËR INTEGRIMIN E  
VANET ME IoT DHE 5G PËR SMART CITIES

Disertacion

i paraqitur në Universitetin Politeknik të Tiranës

për marrjen e gradës

“Doktor”

në “Teknologjitë e Informacionit dhe Komunikimit”

drejtimi Telekomunikacion dhe Inxhinieri Informacioni

nga

Orjola Jaupi

2026

**JURIA PËR VLERËSIMIN E DISERTACIONIT PËR FITIMIN E GRADËS  
SHKENCORE “DOKTOR”**

Miratuar

me vendimin e Këshillit të Profesorëve të FTI-së Nr 3 , datë 12.03.2026

Kryetar i Jurisë                      Prof. Dr. Aleksandër BIBERAJ

Anëtar i Jurisë                      Prof. Dr. Olimpjon SHURDI

Anëtar i Jurisë (Oponent)        Prof. Dr. Elson AGASTRA

Anëtar i Jurisë                      Prof. Dr. Adriana GJONAJ

Anëtar i Jurisë (Oponent)        Prof. Asoc. Dr. Kreshnik VUTAKANA

Dekan i Fakultetit të Teknologjisë së Informacionit

Prof. Dr. Elinda MEÇE

## *Falenderime*

Së pari falenderoj udhëheqësin shkencor të këtij disertacioni Prof. Asoc. Evjola Spaho për përkushtimin dhe profesionalizmin si udhëheqëse gjatë gjithë periudhës së studimeve doktorale. Jam thellësisht mirënjohëse për durimin, vendosmërinë dhe pasionin me të cilin më ka dhënë këshillimin teknik për fushën e punimit doctoral dhe mbështetjen e vazhdueshme të këtij procesi në çdo hap dhe çdo ide për zhvillimin e punimit.

Me respekt dhe mirënjohje falenderoj të gjithë stafin e Departamentit të Elektronikës dhe Telekomunikacionit në Fakultetin e Teknologjisë së Informacionit në Universitetin Politeknik të Tiranës. Me përkrahjen e tyre të pakursyer e kanë bërë më të lehtë studimin tim doctoral pranë FTI në aspekte teknike dhe njerëzore.

Falenderoj gjithashtu Prof. Elinda Kajo dhe Prof. Igli Tafa në Departamentin e Inxhinierisë Informatike në Fakultetin e Teknologjisë së Informacionit në Universitetin Politeknik të Tiranës. Mbështetja e tyre ka qenë vendimtare në studimet e mija doktorale.

Jam gjithashtu falenderuese ndaj studentëve të doktoratës 2022 – 2026 me të cilët kemi pasur bashkëpunim të vazhdueshëm nga ana profesionale dhe njerëzore, në veçanti Ronild Hako me të cilin kemi pasur fatin të jemi në një projekt dhe të bashkëpunojmë së bashku.

Falenderoj familjen time, mamin dhe babin për dedikimin e jetës së tyre në edukimin dhe shkollimin tim. U jam mirënjohëse pafund dhe falenderimet nuk do të mjaftojnë asnjëherë për të treguar mbështetjen e tyre që gjithmonë ka qenë e qëndisur me shumë dashuri, besim, kohë e përkujdesje. Gjithashtu dua të falenderoj motrën time Brikenën e cila është shtysa ime më e madhe në çdo sukses timin. Falenderim i veçantë shkon për Albanin, njeriut tim të zemrës, i cili ka besuar tek unë edhe në momentet më të vështira dhe ka ndihmuar kudo ka qenë e mundur me punimin doctoral.

*Tiranë 2026*

*Orjola Jaupi*

## Abstrakt

*Ky disertacion ka si qëllim zhvillimin e teknikave inteligjente për integrimin e rrjeteve Vehicular Ad-hoc Networks (VANET), Vehicular Delay Tolerant Networks (VDTN), Internet of Things (IoT) dhe 5G në kontekstin e Smart Cities. Integrimi i këtyre rrjeteve paraqet sfida të shumta për shkak të natyrës heterogjene të teknologjive, ndërprerjeve të lidhjeve dhe nevojës për menaxhim efikas të energjisë dhe burimeve fizike të infrastrukturës. Në fazën fillestare, u realizua një rishikim sistematik i literaturës, për të identifikuar boshllëqet ekzistuese në fushën e komunikimit ndërmjet rrjeteve heterogjene. Analiza tregoi se modelet aktuale fokusohen kryesisht në një ose dy teknologji dhe nuk adresojnë ndërveprimin kompleks midis VANET, VDTN, IoT dhe 5G, gjë që kufizon efikasitetin e komunikimit dhe qëndrueshmërinë e rrjetit në mjedise urbane dinamike. Për të adresuar këto sfida, u propozua një arkitekturë e integruar komunikimi që mundëson komunikim të qëndrueshëm, efikas dhe inteligjent ndërmjet automjeteve, infrastrukturës dhe sensorëve urbanë. Në këtë kontekst, u zhvilluan tre teknika të reja inteligjente që synojnë reduktimin e mbingarkesës së rrjetit, humbjes së paketave, optimizimin e energjisë, menaxhimin e kapacitetit të buffer-it dhe uljen e kostove të ndërtimit të rrjetit.*

*Kontributi i parë i këtij punimi është modifikimi i protokollit Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity (PRoPHET) për të optimizuar konsumimin e energjisë dhe përdorimin e buffer-it, duke përshtatur sjelljen e nyjeve sipas gjendjes së tyre energjetike dhe rëndësisë së informacionit.*

*Kontributi i dytë përfshin përmirësimin e protokolleve Epidemic dhe Spray and Wait, përmes një mekanizmi të integruar të pragut të energjisë dhe dërgimit me përparësi, që mundëson offloading inteligjent të trafikut tek VDTN dhe garanton dërgimin e mesazheve me prioritet në rrjete të dendura 5G-IoT.*

*Gjithashtu, si kontribut i tretë u zhvillua një model shumë-objektiv i optimizimit të infrastrukturës 5G, bazuar në algoritmin evolucionar Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), për të minimizuar kostot e vendosjes së gateway-ve, duke maksimizuar mbulimin dhe duke balancuar ngarkesën e trafikut. Modeli u testua me të dhëna reale nga rrjeti urban i Tiranës, duke përfshirë dy skenarë me 21 dhe 15 linja autobusi, dhe tre nivele të rrezes së komunikimit. Rezultatet treguan se konfigurimi me rreze 500 m ofron kompromisin më të mirë midis kostos,*

*mbulimit dhe ngarkesës së trafikut, ndërsa përzgjedhja e stacioneve kyçe të autobusëve si pika fikse për gateway optimizoi më tej performancën dhe uljen e kostove.*

*Rezultatet e simulimeve dhe analizat e marra demonstrojnë se teknikat e propozuara rrisin probabilitetin e dorëzimit të mesazheve, reduktojnë konsumin e energjisë dhe përmirësojnë qëndrueshmërinë e rrjetit në mjedise të dendura urbane.*

***Fjalët kyçe:*** VANET, VDTN, IoT, 5G, Smart Cities, NSGA-II, efikasitet energjetik, optimizim i buffer-it, rrugëzim inteligjent, vendosje e gateway-ve, optimizim me shumë objektiva, rrjete heterogjene, arkitekturë komunikimi.

## **Abstract (English)**

*This thesis aims to develop intelligent techniques for the integration of Vehicular Ad-hoc Networks (VANET), Vehicular Delay Tolerant Networks (VDTN), Internet of Things (IoT) and 5G networks within the context of Smart Cities. The integration of these networks presents several challenges due to their heterogeneous nature, intermittent connectivity, and the need for efficient management of energy and physical infrastructure resources. In the initial phase, a systematic literature review was conducted to identify existing gaps in inter-network communication. The analysis revealed that current models are primarily focused on one or two technologies and fail to address the complex interaction between VANET, VDTN, IoT, and 5G, which limits communication efficiency and network stability in dynamic urban environments.*

*To address these challenges, an integrated communication architecture was proposed to enable reliable, efficient, and intelligent communication among vehicles, infrastructure, and urban sensors. Within this framework, three novel intelligent techniques were developed to mitigate network congestion and packet loss, optimize energy consumption and buffer management, and reduce the cost of network deployment.*

*The first contribution of this work was the modification of Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity (PRoPHET) routing protocol to optimize energy consumption and buffer utilization by adapting node behavior based on residual energy and message importance.*

*The second contribution involves the enhancement of the Epidemic and Spray and Wait routing protocols through an integrated mechanism combining energy thresholding and priority-based forwarding, which enables intelligent traffic offloading to VDTNs and guarantees the delivery of high-priority messages in dense 5G-IoT network scenarios.*

*Furthermore, the third contribution was the development of a multi-objective optimization model for 5G infrastructure deployment using the Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II). This model minimizes gateway deployment costs while maximizing coverage and balancing network load. The proposed model was tested using real data from the urban transport network of Tirana, involving two scenarios with 21 and 15 bus lines and three communication ranges. The results demonstrated that the 500 m range configuration offers the*

*best trade-off between cost, coverage, and load balance, while the inclusion of key bus stops as fixed gateway locations further improved performance and reduced infrastructure costs.*

*Simulation results and analytical evaluations show that the proposed techniques increase message delivery probability, reduce energy consumption, and enhance network stability in dense urban environments.*

**Keywords:** *VANET, VDTN, IoT, 5G, Smart Cities, NSGA-II, energy efficiency, buffer optimization, intelligent routing, gateway placement, multi-objective optimization, heterogeneous networks, communication architecture*

## **Përmbajtja**

<b>Abstrakt</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract (English)</b> .....	<b>7</b>
<b>Përmbajtja</b> .....	<b>9</b>
<b>Lista e Tabelave</b> .....	<b>12</b>
<b>Lista e Figurave</b> .....	<b>13</b>
<b>Shkurtime</b> .....	<b>15</b>
<b>KREU I</b> .....	<b>16</b>
<b>HYRJE</b> .....	<b>16</b>
1.1 Konteksti i Punimit .....	16
1.2 Motivimi i punimit.....	17
1.3 Qëllimi dhe Kontributet e punimit .....	18
1.4 Organizimi i Punimit .....	20
<b>KREU II</b> .....	<b>22</b>
<b>RRJETAT VANET: ARKITEKTURA, APLIKIMET DHE SFIDAT</b> .....	<b>22</b>
2.1. Hyrje .....	22
2.2 Arkitektura e Rrjeteve VANET .....	23
2.3. Aplikimet e VANET në Smart Cities.....	24
2.3.1 Sistemet e Monitorimit dhe Asistencës së Shoferit .....	26
2.4 Sfidat e Rrjeteve VANET.....	27
2.4.1 Shkallëzueshmëria e rrjetit.....	28
2.4.2 Interferencat midis VANET dhe radarëve .....	32
2.4.3 Particionimi frekuent .....	33
<b>KREU III</b> .....	<b>36</b>
<b>RISHIKIMI I LITERATURËS</b> .....	<b>36</b>
3.1. Hyrje .....	36
3.2 Rëndësia e integritit të VANET dhe VDTN me 5G dhe IoT për Smart Cities .....	40
3.3 Klasifikimi dhe Prioritizimi i të Dhënave .....	45

<b>3.4 Rishikimi i literaturës ekzistuese për integrimin e VANET me IoT, 5G dhe VDTN .....</b>	<b>46</b>
3.4.1 Qasjet e bazuara në integrimin VANET-5G .....	46
3.4.2 Qasjet e bazuara në integrimin VANET-IoT .....	48
3.4.3 Qasjet e bazuara në VANET/VDTN, IoT dhe 5G në Smart Cities .....	50
<b>3.5 Arkitektura logjike për integrimin e VANET, VDTN, IoT dhe 5G në Smart Cities .....</b>	<b>51</b>
<b>KREU IV .....</b>	<b>54</b>
<b>PROPOZIMI DHE VLERËSIMI I DY TEKNIKAVE PËR OPTIMIZIMIN E KOMUNIKIMIT DHE MENAXHIMIN E ENERGJISË NË VDTN PËR SMART CITIES .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1. Hyrje .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2 Punime të ngjashme .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3 Teknika I: Optimizimi i Protokollit PROPHET për Reduktimin e Konsumit të Energjisë .....</b>	<b>59</b>
Modifikimi i PROPHET për përcjelljen e mesazheve bazuar në energji .....	59
Menaxhimi i buffer-it i bazuar në ACK .....	61
4.3.1 Metodologjia, skenaret dhe rezultatet e simulimit për Teknikën I .....	62
Rezultatet për probabilitetin e dërgimit .....	64
Rezultatet për Overhead-in .....	65
Rezultatet për Kohën mesatare në buffer .....	67
<b>4.4 Teknika II: Strategjia e Integruar e Pragut të Energjisë dhe Dërgimit me Përparësi .....</b>	<b>69</b>
Strategjia e Propozuar e Dërgimit .....	70
4.4.1 Metodologjia, skenaret dhe rezultatet e simulimit për Teknikën II .....	71
Rezultatet e probabilitetit të dërgimit dhe energjisë mesatare të mbetur për protokollin Epidemic .....	73
Rezultatet e probabilitetit të dërgimit dhe energjisë mesatare të mbetur për protokollin Spray and Wait .....	74
<b>KREU V .....</b>	<b>76</b>
<b>TEKNIKA E BAZUAR NË GA PËR OPTIMIZIMIN E VENDOSJES SË GATEWAYS NË NJË RRJET TRANSPORTI NË SMART CITY TË MBËSHËTETUR 5G DHE VDTN (RASTI STUDIMOR I TIRANËS) .....</b>	<b>76</b>
<b>5.1. Hyrje .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2 Teknika III: Propozimi i një modeli të bazuar në GA për optimizimin e vendosjes së gateway-ve në rrjetin urban të transportit me autobusë në një arkitekturë 5G-VDTN për qytetin e Tiranës .....</b>	<b>77</b>
<b>5.3 Metodologjia, dhe Formulimi i Problemit .....</b>	<b>79</b>
Mjetet e simulimit .....	80
Algoritmat gjenetikë .....	80

Formulimi i problemit .....	82
<b>5.4 Rezultatet e Simulimit për Teknikën III .....</b>	<b>88</b>
5.4.1 Skenari me rreze të ndryshme rrezatimi të njësisë radio .....	88
5.4.2 Skenari me ndryshimin e linjave të autobuzave .....	91
5.4.3 Skenari me zgjedhjen e lokacioneve të detyrueshme për gateway .....	95
<b>KREU VI .....</b>	<b>100</b>
<b>PËRFUNDIME DHE PUNA NË TË ARDHMEN .....</b>	<b>100</b>
<b>Lista e publikimeve .....</b>	<b>103</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>105</b>

## Lista e Tabelave

Tabela 3.1 Kontributet dhe sfidat e VANET, VDTN, IoT, 5G për smart cities .....	41
Tabela 4.1 Rishikimi i literaturës për optimizimin e protokollit PRoPHET.....	56
Tabela 4.2 Rishikimi i literaturës për optimizimin e protokolleve Epidemic dhe Spray and Wait ..	58
Tabela 4.3 Parametrat e simulimit .....	62
Tabela 4.4 Parametrat e energjisë .....	63
Tabela 4.5 Parametrat e simulimit .....	72
Tabela 4.6 Parametrat e energjisë. ....	72
Tabela 5.1 Përshkrimi i variablave kryesore.....	82
Tabela 5.2 Varësia e parametrave të optimizimit nga rrezja e njësisë së rrezatimit radio për 21 linja autobuzi.....	88
Tabela 5.3 Varësia e parametrave të optimizimit nga rrezja e njësisë së rrezatimit radio për 21 linja autobuzi.....	91
Tabela 5.4 Parametrat e optimizimit për 21 linja autobuzi dhe 5 gateway të detyrueshme.....	97
Tabela 5.5 Parametrat e optimizimit për 15 linja autobuzi dhe 5 lokacione të detyrueshme gateway .....	97

## Lista e Figurave

Figura 1.1 Kontributet e punimit .....	19
Figura 1.2 Organizimi i punimit. ....	21
Figura 2.1 Arkitektura e komunikimit VANET.....	23
Figura 2.2 VANET dhe smart cities. ....	25
Figura 2.3 Cilësitë e një sistemi DMS. ....	26
Figura 2.4 Mjet që përdor sistemin ADAS. ....	27
Figura 2.5 Clustering ne VANETs.....	29
Figura 2.6 Klasifikimi i teknikave Soft Computing per clustering ne VANETs.....	30
Figura 2.7 Një rrjet VDTN [42].....	34
Figura 3.1 Hapat e rishikimit të literaturës .....	37
Figura 3.2 Rrjeti i bashkë-shfaqjes së fjalëve kyçe ne literaturen e lidhur me VANET e gjeneruar me VOSviewer.....	39
Figura 3.3 Shembull i komunikimit midis IoT, VDTN, VANET dhe 5G në një smart city .....	43
Figura 3.4 Bllokskema e strukturës së propozuar. ....	45
Figura 3.5 Arkitektura e propozuar me shtresa për integrimin logjik të VANET, VDTN, IoT dhe 5G për smart cities. ....	52
Figura 4.1 Probabiliteti i dërgimit vs. numri i nyjeve kur nuk përdoret ACK.....	64
Figura 4.2 Probabiliteti i dërgimit vs. numri i nyjeve kur përdoret ACK.....	65
Figura 4.3 Overhead ratio vs. No. of nodes kur nuk përdoret ACK. ....	66
Figura 4.4 Overhead ratio vs. No. of nodes kur përdoret ACK. ....	66
Figura 4.5 Koha mesatare e buffer-it dhe numri i nyjeve kur nuk përdoret ACK.....	68
Figura 4.6 Koha mesatare e buffer-it dhe numri i nyjeve kur përdoret ACK.....	68
Figura 4.7 Rrjedhja logjike e teknikës së propozuar me prag energjie.....	70
Figura 4.8 Rrjedhja logjike e teknikës së propozuar me integrimin e pragut të energjisë dhe dërgimit me prioritet .....	71
Figura 4.9 Rezultatet e probabilitetit të dërgimit për protokollin Epidemic duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit. ....	73

Figura 4.10 Rezultatet për energjinë mesatare të mbetur për protokollin epidemic duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit. ....	73
Figura 4.11 Rezultatet e probabilitetit të dërgimit për protokollin Spray and Wait duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit. ....	74
Figura 4.12 Rezultatet për energjinë mesatare të mbetur për protokollin Spray and Wait duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit.....	74
Figura 5.1 Arkitektura e propozuar 5G - VDTN .....	78
Figura 5.2 Stacionet e autobuzave që shërbejnë si kandidatë Gateway, Skenari me 21 linja autobuzi.....	79
Figura 5.3 Vendosja e Gateway për 267 stacione autobusi, duke përdorur RU me rreze të ndryshme.....	90
Figura 5.4 Ndalesat e autobuzit që shërbejnë si kandidatë Gateway, Skenari me 15 linja autobuzi .....	92
Figura 5.5 Krahasim i efijences midis skenarit me 21 linja autobuzi dhe atij me 15 linja autobuzi.....	93
Figura 5.6 Vendosja e Gateway për 165 stacione autobuzi duke përdorur njësi radio me rreze të ndryshme.....	95
Figura 5.7 Kandidatët e gateway dhe lokacionet e detyrueshme të gateway për 21 linja autobusi dhe 15 linja autobusi .....	96
Figura 5.8 Vendosja e gateway duke përdorur vendodhjet e detyrueshme të gateway .....	99

## Shkurtime

IoT	Internet of Things
V2V	Vehicle-to-Vehicle
VANET	Vehicular Ad Hoc Networks
V2X	Vehicle to Everything
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2P	Vehicle-to-Pedestrian
VDTN	Vehicular Delay-Tolerant Networks
NSGA-II	Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II
MANETs	Mobile Ad-hoc Networks
DSRC	Dedicated Short-Range Communications
RSU	Roadside Units
TMC	Traffic Management Center
DMS	Driver Monitoring System
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
ACC	Adaptive Cruise Control
AEB	Automatic Emergency Braking
CM	Cluster Members
CH	Cluster Head
PRoPHET	Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communications
SDN	Software Defined Networking
NFV	Network Function Virtualization
WIDA	Wireless Intrusion Detection Algorithm
LPWAN	Low Power Wide Area Network
PaaS	Platform as a Service
A-MAC	Authentication-based Medium Access Control
ML	Machine Learning
WDMM	Working Day Movement Model
ITS	Intelligent Transportation System

# KREU I

## HYRJE

### 1.1 Konteksti i Punimit

Rritja e madhe e popullsisë në zonat urbane ka sjellë nevojën e tranzicionit të qyteteve nga qytete të zakonshme në Smart Cities për shkak të rritjes së kompleksitetit për menaxhimin e tyre. Zhvillimi i shpejtë i teknologjive të komunikimit pa tela dhe dixhitalizimi i shoqërisë moderne kanë çuar drejt krijimit të Smart Cities, ku shërbimet urbane, transporti dhe infrastruktura ndërveprojnë në mënyrë të automatizuar. Një nga teknologjitë që mundëson ndërlidhjen e pajisjeve dhe sensorëve për shkëmbim të vazhdueshëm informacioni është Internet of Things (IoT) [1].

Sistemet Inteligjente të Transportit (ITS) gjithashtu ofrojnë një rol shumë të rëndësishëm duke siguruar koordinim të trafikut në smart cities, menaxhim efikas të transportit dhe siguri rrugore duke u bazuar në komunikimin e rrjeteve Vehicular Ad Hoc Networks (VANET), Vehicle to Everything (V2X), që integron komunikimin midis automjeteve (Vehicle-to-Vehicle V2V), automjeteve dhe infrastrukturës (Vehicle-to-Infrastructure V2I), si dhe automjeteve dhe njerëzve (Vehicle-to-Pedestrian V2P) [2].

Në të njëjtën kohë, rrjetet 5G me cilësitë që i karakterizojnë si transmetimi me shpejtësi të larta, vonesa të ulta, dhe kapacitet të lartë, kanë hapur horizonte të reja për zhvillimin e VANET dhe IoT. Këto karakteristika e bëjnë 5G një shtyllë thelbësore për zbatimin e aplikimeve të avancuara në Sistemet Inteligjente të Transportit dhe për integrimin e rrjeteve heterogjene në një arkitekturë të përbashkët [3].

Megjithatë, qytetet smart po përballen me një rritje të numrit të automjeteve dhe pajisjeve IoT, prandaj, ndryshueshmëria dinamike e topologjisë së rrjetit si dhe kufizimet e energjisë paraqesin sfida të rëndësishme në qëndrueshmërinë dhe menaxhimin e burimeve të komunikimit. Në këtë kontekst, Vehicular Delay-Tolerant Networks (VDTN), një kategori e rrjeteve VANET duken shumë premtuese për të realizuar komunikimin në mjedise me lidhje të paqëndrueshme, duke përdorur mekanizmin store-carry-forward për transmetimin e të dhënave edhe në kushtet e mungesës së infrastrukturës fikse [4] [5].

Duke marrë parasysh rëndësinë e këtyre teknologjive duket se integrimi i këtyre teknologjive në Smart Cities sjell përfitime shumë të mëdha për këto qytete. Prandaj, në këtë punim ne propozojmë teknika të reja inteligjente për integrimin e rrjeteve VANET, IoT, 5G dhe VDTN në një arkitekturë të unifikuar, për të mundësuar rritje të efikasitetit të komunikimit, reduktim të konsumit të energjisë dhe optimizim të vendosjes së infrastrukturës së rrjeteve.

## 1.2 Motivimi i punimit

Integrimi i VANET, IoT dhe 5G në funksion të transformimit të qyteteve moderne drejt ekosistemeve inteligjente të ndërlidhura has vështirësi të shumta që lidhen me mungesën e një arkitekture të unifikuar, përshtatjen e rrjetit në mënyrë dinamike në kushte të ndryshueshme urbane, shpërndarjen e burimeve dhe optimizimin energjetik. Këto sfida paraqesin nevojën për modele të reja inteligjente të kontrollit dhe optimizimit, të afta të funksionojnë në mjedise të dendura dhe të ndryshueshme si Smart Cities [1].

Rrjetet VANET paraqesin dinamizëm të lartë për shkak të mobilitetit të lartë të automjeteve, rrjetet IoT kanë burime të energjisë të kufizuara dhe zakonisht janë të ngadalta në transmetimin e informacionit, ndërsa rrjetet 5G ofrojnë performancë të lartë por kërkojnë planifikim të kujdesshëm të burimeve. Ndërveprimi i këtyre tre sistemeve për Smart Cities kërkon teknika që përfshijnë një mekanizëm të unifikuar që të balancojë efikasitetin, kostot dhe qëndrueshmërinë.

Në mënyrë të veçantë, rrjetet VDTN shfaqen si një ndër mekanizmat më të përshtatshëm për mjedise ku lidhjet janë të ndërprera ose jo të vazhdueshme. Rrjetat VDTN mund të ndihmojnë rrjetet 5G sepse mundësojnë transmetimin e të dhënave jo kritike dhe jo urgjente duke lehtësuar në këtë mënyrë ngarkesën në këto rrjete. Duke parë potencialin e rrjeteve VDTN dhe potencialin e integritit të tyre me IoT dhe 5G nevojiten teknika inteligjente për menaxhimin e burimeve të energjisë, kapacitetit të buffer-it dhe teknika të rrugëzimit të mesazheve për të siguruar performancë të qëndrueshme në kushtet e rrjeteve të ngarkuara [6].

Për këtë arsye, një nga motivimet kryesore të këtij studimi është zhvillimi i një teknike të re të dërgimit të mesazheve duke u bazuar në energy threshold dhe priority forwarding, e cila lejon balancimin midis konsumit të energjisë dhe probabilitetit të lartë të dorëzimit të të dhënave me prioritet të lartë. Kjo teknikë do të aplikohet në protokollet e rrugëzimit dhe qëllimi kryesor është të ndihmojë në rritjen e jetëgjatësisë së nyjeve dhe reduktimin e humbjeve të mesazheve në

mjedise me densitet të lartë trafiku. Gjithashtu, propozimi i teknikave për ndryshimin/përmirësimin e protokolleve të rrugëzimit në rrjetet tolerante ndaj vonesave të cilat janë të vetëdijshme ndaj energjisë (energy-aware) dhe bëjnë menaxhimin e buffer-it bazuar në ACK janë të nevojshme.

Nga ana tjetër, menaxhimi i burimeve në rrjete të integruara 5G-IoT-VDTN paraqet një problem kompleks optimizimi me shumë objektiva ku duhet marrë parasysh njëkohësisht: mbulimi gjeografik, kostot e infrastrukturës, balancimi i ngarkesës në gateway, dhe reduktimi i interferencave në komunikim.

Metodat tradicionale të planifikimit ose optimizimit me objektiva të vetëm janë të pamjaftueshme për të trajtuar këtë kompleksitet, pasi nuk arrijnë të balancojnë në mënyrë dinamike kompromiset mes performancës dhe kostos. Kjo çon në nevojën për një qasje, që mund të eksplorojë hapësirën e zgjidhjeve në mënyrë inteligjente dhe të identifikojë kombinime optimale midis parametrave konkurrues.

### **1.3 Qëllimi dhe Kontributet e punimit**

Qëllimi i këtij punimi është të propozojë një arkitekturë logjike të integruar komunikimi që bashkon rrjetet VANET/VDTN, IoT dhe 5G për aplikim në Smart Cities. Kjo arkitekturë synon të mundësojë komunikim të qëndrueshëm, efikas dhe inteligjent në mjedise me lidhje të ndërprera ose me densitet të lartë trafiku.

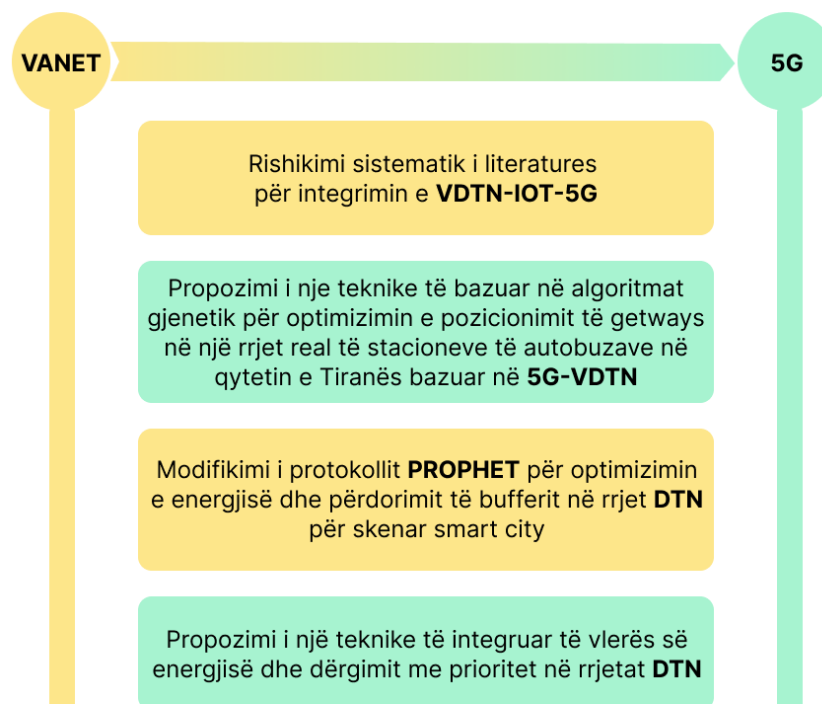
Në kuadër të këtij qëllimi, punimi propozon dhe vlerëson tre teknika të reja inteligjente, të cilat fokusohen në:

- reduktimin e mbingarkesës së rrjetit dhe reduktimin e humbjes së paketave,
- optimizimin e konsumit të energjisë dhe menaxhimin efikas të kapacitetit të buffer-it,
- si dhe minimizimin e kostos së ndërtimit të rrjetit duke optimizuar infrastrukturën nëpërmjet përdorimit të algoritmeve gjenetike.

Kontributet kryesore të këtij punimi paraqiten në Figurën 1.1 dhe përmbliidhen si më poshtë:

1. Realizimi i rishikimit sistematik të literaturës për të evidentuar mangësitë dhe problematikat në integrimin e rrjeteve heterogjene VANET, VDTN, IoT dhe 5G për Smart Cities në një arkitekturë të përbashkët.

2. Propozimi i një arkitekture logjike të integruar për rrjetet VANET-IoT-5G, e bazuar në konceptin e VDTN, që siguron komunikim të vazhdueshëm në mjedise me lidhje të ndërprera.
3. Modifikimi i protokollit PROPHET për optimizimin e energjisë dhe të kapacitetit të buffer-it në rrjetet tolerante ndaj vonesave për skenar Smart City.
4. Zhvillimi i varianteve të përmirësuar të protokolleve të rrugëzimit Epidemic dhe Spray and Wait në një skenar Smart City, që kombinojnë prapun e energjisë dhe dërgimin me përparësi, për të optimizuar performancën e rrjeteve me densitet të lartë trafiku.
5. Zbatimi i një algoritmi evolucionar me shumë objektiva Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) për optimizimin e vendosjes së gateway-ve 5G-IoT, duke marrë në konsideratë kostot e infrastrukturës, mbulimin dhe balancimin e ngarkesës.
6. Simulimi dhe vlerësimi i performancës me të dhëna reale nga qyteti i Tiranës, duke demonstruar efikasitetin e modelit të propozuar dhe potencialin e tij për implementim në sisteme reale.



*Figura 1.1 Kontributet e punimit.*

## **1.4 Organizimi i Punimit**

Ky punim është i strukturuar në gjashtë kapituj, të cilët ndërtojnë gradualisht strukturën teorike, metodologjike dhe eksperimentale të studimit. Figura 1.2 paraqet në mënyrë skematike organizimin e punimit dhe lidhjet logjike ndërmjet kapitujve. Përmbajtja e kapitujve është si më poshtë:

### **Kapitulli 1**

Ky kapitull paraqet kontekstin e përgjithshëm të kërkimit shkencor, motivimin që qëndron pas këtij studimi, si dhe kontributet kryesore të punës së kryer. Përshkruhen teknologjitë kryesore në Smart Cities, funksionalitet që ato kanë dhe evidentohen nevojat për teknika inteligjente për integrimin e tyre. Gjithashtu në mënyrë konçize paraqiten kontributet kryesore të punimit për integrimin e VANET, VDTN, IoT dhe 5G për Smart Cities.

### **Kapitulli 2**

Ky kapitull jep një përshkrim të detajuar të koncepteve themelore mbi rrjetat VANET dhe VDTN dhe mënyrën sesi ato kontribuojnë në zhvillimin e Smart Cities. Përshkruhen karakteristikat kryesore të rrjeteve VANET, arkitektura e tyre, llojet e komunikimit, si dhe sfidat që këto rrjete hasin si particionimi frekuent, shkallëzueshmëria e interferencat me radarët si dhe teknika për zgjidhjen e këtyre sfidave.

### **Kapitulli 3**

Në këtë kapitull kemi rishikimin e literaturës për integrimin e rrjeteve VANET, VDTN, IoT dhe 5G për smart cities. Prezantohen modelet e ndryshme të ndërveprimit të teknologjive 5G VANET, 5G IoT, IoT VANET, 5G Smart Cities dhe evidentohen mangësitë/problematikat në kontekstin e energjisë, kostos dhe mbulimit sa më të gjerë të këtyre rrjeteve. Në bazë të gjetjeve në literaturë, ne propozojmë një arkitekturë logjike të integrimit të këtyre rrjeteve.

### **Kapitulli 4**

Ky kapitull përqendrohet në propozimin e dy teknikave për zhvillimin e protokolleve të përmirësuar të rrugëzimit Epidemic dhe Spray and Wait në rrjetet tolerante ndaj vonesave, që kombinojnë prapën e energjisë dhe dërgimin me përparësi, për të rritur performancën e rrjeteve me densitet të lartë trafiku në kontekstin e Smart City. Gjithashtu, propozohet dhe vlerësohet modifikimi i protokollit PROPHET për optimizimin e energjisë dhe të kapacitetit të buffer-it në një skenar Smart City.

## Kapitulli 5

Në këtë kapitull paraqitet zhvillimi i një modeli optimizimi për vendosjen e njeve gateway në rrjetin e transportit urban të Tiranës të bazuar në arkitekturë të integruar 5G dhe VDTN duke përdorur një Algoritëm Gjenetik Multi-Objektiv NSGA-II. Objektivi kryesor është të arrihet një balancë midis kostos së vendosjes, mbulimit të rrjetit dhe ngarkesës së trafikut, duke garantuar që çdo stacion autobusi të mbulohet nga të paktën një gateway. Përmes simulimeve paraqitet se si algoritmi i propozuar arrin rezultate efikase, si reduktimin e kostos duke ulur numrin e gateways dhe përmirësimin e shpërndarjes së ngarkesës.

## Kapitulli 6

Ky kapitull përmbledh përfundimet kryesore të arritura gjatë punimit, duke nënvizuar rëndësinë e integritit të rrjeteve 5G, IoT dhe VDTN në zhvillimin e Smart Cities. Në këtë kapitull paraqiten gjithashtu disa drejtime për punën në të ardhmen.

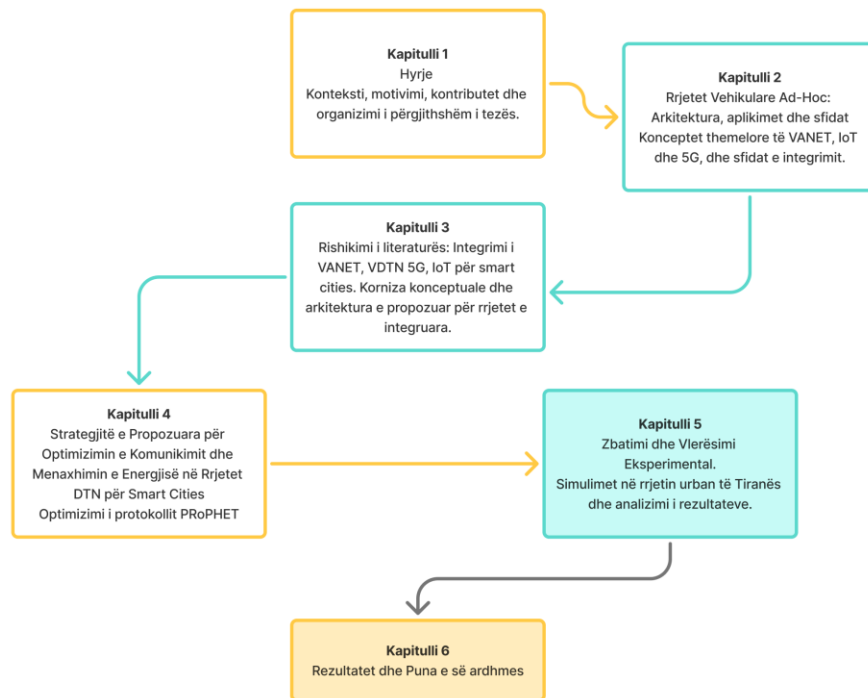


Figura 1.2 Organizimi i punimit.

## KREU II

### RRJETAT VANET: ARKITEKTURA, APLIKIMET DHE SFIDAT

#### 2.1. Hyrje

Vehicular Ad-hoc Network (VANET) është një rrjet komunikimi pa tela që formohet në mënyrë dinamike midis automjeteve dhe pajisjeve infrastrukturore rrugore (si stacionet bazë ose njësitë anës rrugës). Qëllimi i rrjeteve VANET në funksion të Smart Cities është të mundësojnë mbështetjen e një numri të madh aplikimesh të sigurisë rrugore, menaxhimit të trafikut, shërbimet e automatizimit urban si dhe menaxhimin sa më efikas të infrastrukturës.

VANET është një nënkategori e rrjeteve Mobile Ad-hoc Networks (MANETs), ku nyjet pjesëmarrëse janë automjetet. Kjo bën që nyjet mobile në rrjetet VANET të mos vuajnë nga mungesa e burimeve të vazhdueshme të energjisë. Gjithashtu, shpejtësitë e larta dhe akset e ndryshme ku automjetet lëvizin sjellin një dinamikë të lartë në këto rrjete. Këto veçori e bëjnë VANET një mjedis komunikimi që përballlet me shumë sfida, si p.sh. lidhjet ndërmjet nyjeve krijohen dhe prishen shumë shpesh, rritet vështirësia në menaxhimin e këtyre rrjetave për shkak të numrit të lartë të automjeteve, gjithashtu rriten edhe interferencat.

Automjetet si nyjet kryesore në një rrjet VANET veprojnë ndërkohë që janë të lëvizshme dhe krijojnë komunikime të ndryshme. Mënyrat e komunikimit në VANET klasifikohen në tre kategori të mëdha: V2V, V2I, dhe V2X (Vehicle-to-Everything) [7] [8] :

- **Komunikimi V2V (Vehicle-to-Vehicle):** Komunikimi V2V është komunikimi i drejtpërdrejtë midis dy ose më shumë automjeteve pa ndërmjetësim të infrastrukturës. Ai përdoret për transmetimin e mesazheve të sigurisë me vonesë të ulët, si sinjalizimet për frenim emergjent apo paralajmërime për përplasje (collision) të mundshme.
- **Komunikimi V2I (Vehicle-to-Infrastructure):** krijohet kur nevojitet komunikimi midis një automjeti dhe një njësie fikse infrastrukturore, në të shumtën e rasteve RSU apo në disa raste mund të jetë komunikimi me një stacion bazë të lëvizshëm. Ky komunikim mundëson menaxhimin në kohë reale të trafikut, përditësimin e të dhënave rrugore dhe transmetimin e informacionit në kohë reale [9].

- **Komunikimi V2X (Vehicle-to-Everything):** përfaqëson zgjerimin e mënyrave të komunikimit në VANET duke përfshirë dhe komunikimin me këmbësorët (V2P), komunikimin mes infrastrukturave (I2I), midis një RSU dhe qendrës së menaxhimit apo çdo element tjetër në ekosistemin e Smart Cities, komunikimin e automjeteve me cloud (V2C) etj.

Të tre kategoritë e komunikimit VANET krijojnë një rrjet bashkëveprues që kontribuon në efikasitet më të lartë të sistemit rrugor. Arkitektura e komunikimit VANET paraqitet në Figurën 2.1

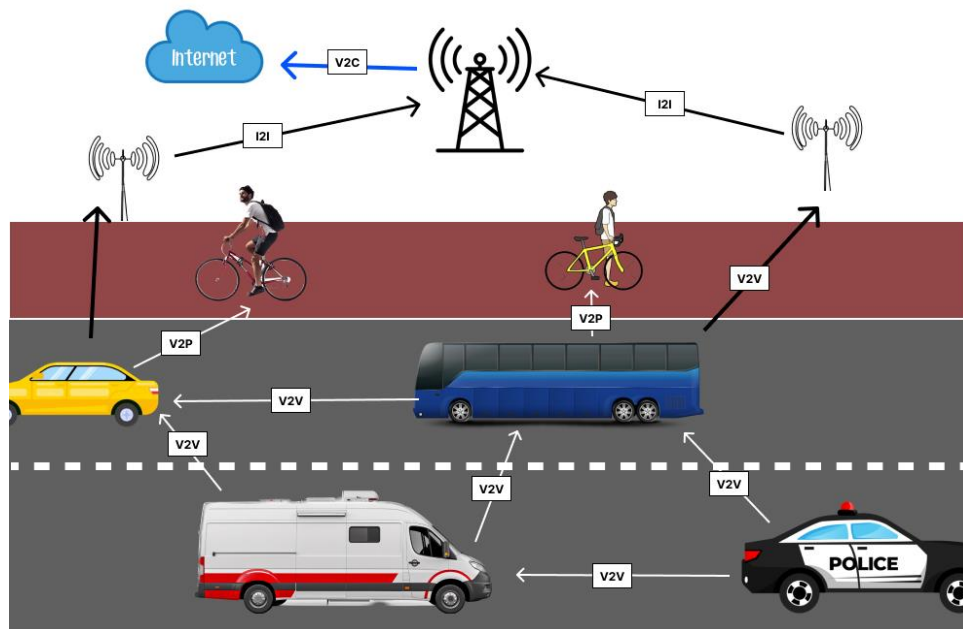


Figura 2.1 Arkitektura e komunikimit VANET.

## 2.2 Arkitektura e Rrjeteve VANET

Një nga karakteristikat kryesore të arkitekturës së rrjetave VANET është struktura e tyre e shpërndarë që nuk varet nga një nyje qendrore që kontrollon komunikimin. Elementët kryesorë të kësaj arkitekture janë automjetet që kanë të integruar njësitë e tyre të komunikimit (On-board Units - OBU), njësitë rrugore fikse (Roadside Units - RSU) si dhe qendrat e menaxhimit të informacionit që mund të ndodhen në skajin e rrjetit (edge) ose në cloud [10].

- **Njësitë On-Board (OBU)** janë të vendosur në bordin e çdo automjeti. Elementet kryesore përbërëse të një OBU janë procesorët e përpunimit, memoria, pajisjet e

komunikimit (Dedicated Short-Range Communications - DSRC), IEEE 802.11p, ose në vitet e fundit 5G C-V2X), sensorët e pozicionimit (GPS), si dhe ndërfaqet për aplikacionet e shoferit. OBU-të bëjnë të mundur që automjetet të komunikojnë me njëra-tjetrën përmes lidhjeve V2V, gjithashtu me infrastrukturën (V2I) duke përcjellë dhe marrë të dhëna nga RSU.

- **Njësitë anësore rrugore (RSU)** janë pajisje të cilat instalohen dhe qëndrojnë fikse përgjatë rrugës. Këtu mund të përfshihen stacionet bazë, semaforët inteligjentë etj. dhe shërbejnë si porta lidhëse me infrastrukturën. RSU-të në këtë mënyrë rritin efikasitetin e VANET duke shërbyer për koordinimin e trafikut, mbledhjen e të dhënave mjedisore, si dhe për ofrimin e shërbimeve të avancuara të sigurisë dhe komunikimit [11].
- **Njësia qendrore e menaxhimit të trafikut (Traffic Management Center - TMC)** përfaqëson komponentin qendror të sistemit inteligjent të menaxhimit të trafikut. Ajo është njësia ku mbledhen, ruhen dhe përpunohen të dhënat që vijnë nga rrjeti rrugor dhe nga automjetet. Shpesh, këto funksione realizohen përmes shërbimeve cloud, të cilat mundësojnë shkallëzim dhe qasje në kohë reale. Elementët e sistemit komunikojnë përmes lidhjeve wireless, duke formuar një infrastrukturë hibride: pjesërisht ad-hoc (automjet-automjet) dhe pjesërisht të mbështetur nga infrastruktura fikse (automjet-infrastrukturë).

### 2.3. Aplikimet e VANET në Smart Cities

VANET përfshijnë një gamë të madhe aplikimesh të lidhura me fushën e transportit dhe shërbime të tjera që ju vijnë në ndihmë automjeteve. Në kontekstin e Smart Cities, këto rrjete luajnë një rol të rëndësishëm për të rritur sigurinë rrugore duke bërë të mundur asistimin e drejtuesit në kohë reale dhe aplikime informative të cilët synojnë të dërgojnë informacione dhe të ofrojnë shërbime për të rritur eficiencën e transportit. Gjithashtu automjetet e ndërlidhura veprojnë si sensorë lëvizës, duke mbledhur dhe shpërndarë në mënyrë të vazhdueshme të dhëna mbi gjendjen e rrugëve, trafikut, ndotjes dhe kushteve atmosferike.

Një ndër aplikimet më të rëndësishme për Smart Cities është menaxhimi inteligjent i trafikut që vazhdon të jetë një problem i vazhdueshëm në shumë qytete. Ai bazohet në analizën në kohë reale të të dhënave që gjenerohen nga automjetet. Autoritetet kombëtare të menaxhimit të trafikut përdorin këto të dhëna për të optimizuar rrjedhën e trafikut, për të rikalibruar kohët e

semaforëve, si dhe për të menaxhuar më mirë trafikun e automjeteve në akset kryesore rrugore. Në rast bllokimesh ose aksidentesh, sistemi mund të devijojë automjetet përmes rrugëve alternative në mënyrë automatike dhe efikase.

Një aplikim tjetër shumë i rëndësishëm lidhet me sigurinë rrugore dhe reagimin në situata emergjente. Përmes komunikimit V2V dhe V2I, automjetet mund të paralajmërojnë paraprakisht njëra-tjetrën për pengesa në rrugë, ndalesa të papritura ose kushte të rrezikshme të infrastrukturës. Zjarrëfikset dhe ambulancat që ndodhen në VANET koordinohen me semaforët dhe njëri-tjetrin për lëvizjen në rrugë me më pak trafik. Në të njëjtën kohë, informacioni dërgohet edhe në qendrat e menaxhimit të trafikut për koordinim me shërbimet emergjente [12].

Optimizimi i udhëtimit dhe reduktimi i konsumit të energjisë realizohen duke grumbulluar të dhënat në kohë reale dhe duke i analizuar në mënyrë të përbashkët të dhënat nga automjetet dhe infrastruktura, sistemet e integruara mund të sugjerojnë shpejtësinë optimale për kalimin e semaforëve (përmes mekanizmit GLOSA - Green Light Optimal Speed Advisory) ose për të shmangur pikat e ngarkesës së lartë. Kjo shërben për të reduktuar kohën e udhëtimit, por edhe në uljen e ndotjes dhe konsumit të karburantit. Të dhënat e hapura të mbledhura gjithashtu mund të përdoren në smart cities për ti analizuar për menaxhim më të mirë urban.

Duke marrë parasysh numrin e lartë të aplikimeve të tyre, rrjetet VANET bëhen një komponent i pandashëm i infrastrukturës së qyteteve të së ardhmes. Aplikimi i VANET në Smart Cities paraqitet në Figurën 2.2 .

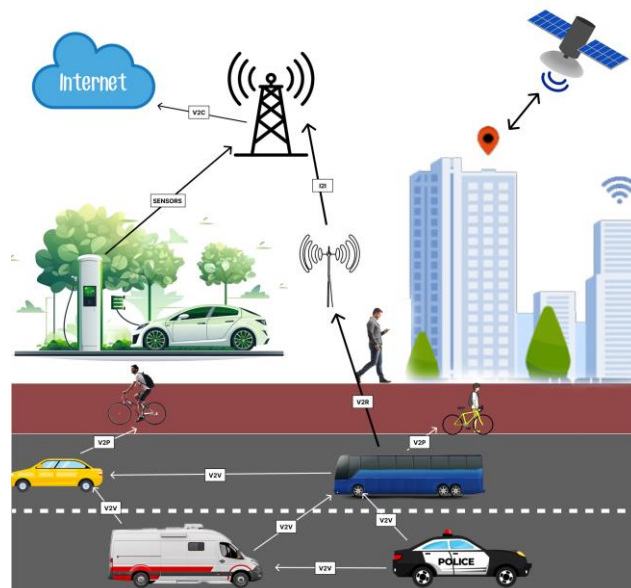


Figura 2.2 VANET dhe Smart Cities.

### 2.3.1 Sistemet e Monitorimit dhe Asistencës së Shoferit

Në kuadër të aplikimeve të integruara të VANET në qytetet inteligjente, një rol të veçantë kanë sistemet e monitorimit të shoferit (Driver Monitoring System - DMS) dhe sistemet e avancuara të ndihmës së drejtimit (Advanced Driver Assistance Systems - ADAS), të cilat synojnë rritjen e sigurisë aktive dhe parandaluese [13].

Sistemet DMS brenda automjetit përdorin sensorë dhe kamera që studiojnë dhe vëzhgojnë në mënyrë të vazhdueshme sjelljen e drejtuesit të automjetit duke analizuar përqendrimin, lodhjen apo përgjumjen. Në këtë mënyrë sistemi detekton mungesë vëmendjeje apo sjellje të rrezikshme duke aktivizuar alarme zanore, vizuale ose vibruese. Në vitet e fundit modelet e avancuara DMS ndërhyjnë automatikisht, duke ulur shpejtësinë e automjetit apo aktivizuar ndalimin emergjent, duke ndryshuar korsinë e lëvizjes etj.

Përdorimi i arkitekturës së bashkëpunimit midis DMS me rrjetin VANET e shndërron sistemin në një mekanizëm kolektiv sigurie. Algoritmet inteligjente si fuzzy logic, machine learning të cilat janë të vendosura në cloud/edge computing pranë rrjetit VANET, sugjerohen për përdorim për të analizuar në kohë reale të dhënat e DMS.

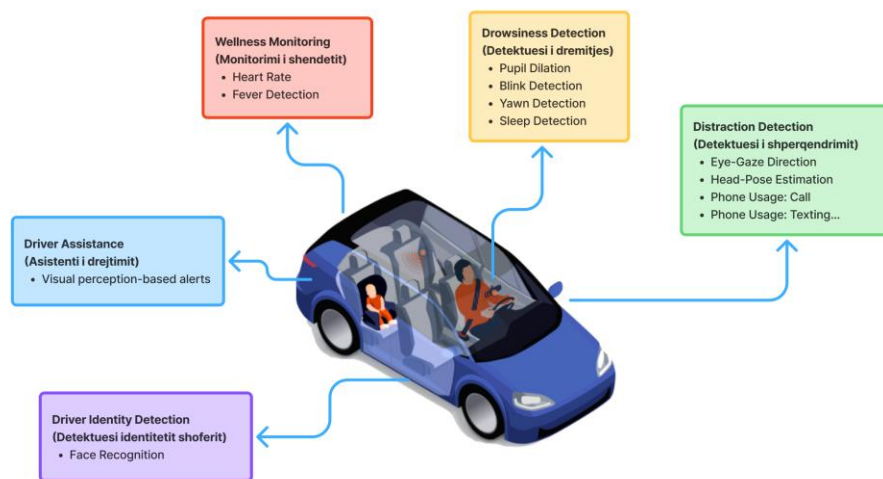


Figura 2.3 Cilësitë e një sistemi DMS.

ADAS është një sistem tjetër shumë i rëndësishëm që ndihmon përdoruesit gjatë udhëtimit dhe rrit sigurinë. Aplikimet kryesore të sistemeve ADAS janë: Adaptive Cruise Control, Lane Keeping Assist, Blind Spot Monitoring, Automatic Emergency Braking, etj.. Ato përdorin sensorë, radarë dhe kamera për të ndihmuar drejtuesin në lëvizjen e sigurt të mjetit. Integrimi i VANET në sistemet ADAS ka bërë të mundur komunikimin e këtyre sistemeve me automjetet e tjera dhe infrastrukturën, duke shtuar aftësinë e tyre për të vëzhguar më shumë sesa mund të vëzhgojnë sensorët e një automjeti të vetëm.

Integrimi i DMS dhe ADAS me rrjetet VANET është vendimtar për automjetet autonome, ku bashkëpunimi i vazhdueshëm midis automjeteve dhe infrastrukturës përmes rrjeteve VANET rrit sigurinë, asistencën dhe menaxhimin e trafikut në kohë reale. Në Figurën 2.4 paraqitet një automjet që përdor sistemin ADAS.

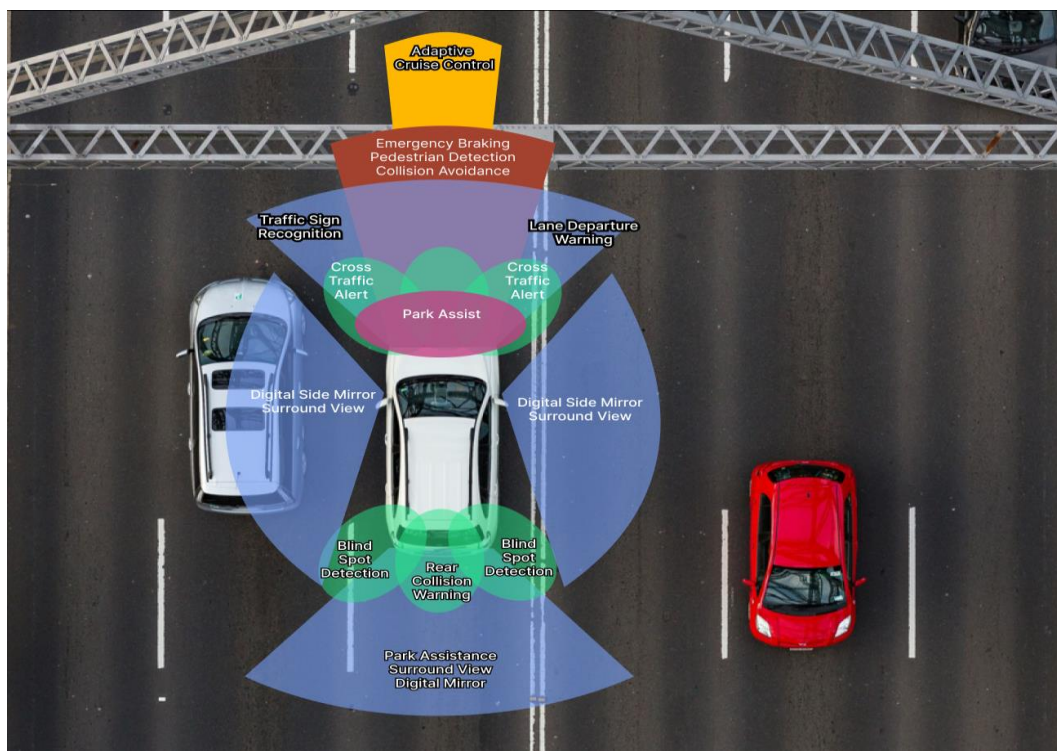


Figura 2.4 Mjet që përdor sistemin ADAS.

## 2.4 Sfidat e Rrjeteve VANET

Pavarësisht se teknologjia zhvillohet dhe përmirësohet çdo ditë, rrjetet VANET hasin një mori sfidash të cilat janë komplekse dhe duhen zgjidhur. Karakteristikat që definojnë rrjetet

VANET siç mund të përmendim dinamikën e lartë, heterogjeniteti etj, nuk bëjnë gjë tjetër veçse sjellin vështirësi në realizimin praktik dhe shkallëzueshmërinë e këtyre rrjeteve. Duke marrë parasysh këtë, ne duhet që ti trajtojmë me detaje këto sfida në mënyrë që të ndërtojmë teknika për të zgjidhur një pjesë të tyre. Disa nga sfidat kryesore të VANET janë: shkallëzueshmëria dhe përmirësimi i saj [14]; integrimi i VANETs me sensorët dhe radarët dhe zgjidhja e problemeve të interferencave [15]; problemi i frequent partitioning [6], menaxhimi efikas i rrjetit etj., përpos problematikave të tjera që hasen dhe në rrjete të tjera si siguria kibernetike, privatësia, standardizimi i këtyre rrjeteve etj.

#### 2.4.1 Shkallëzueshmëria e rrjetit

Shkallëzueshmëria e rrjetit përcakton aftësinë e rrjetit për të përballuar, pa një degradim të performancës rritje të mëdha të numrit të nyjeve dhe trafikut. Një nga sfidat më të mëdha të rrjeteve VANET është shkallëzueshmëria duke marrë parasysh që një rrjet VANET mund të jetë i përbërë nga një numër i paktë automjeteve në rrugë rurale, në mijra automjete në autostrada dhe në qindra mijëra automjete në qytete të mëdha.

Më poshtë paraqiten disa shembuj të zgjidhjes së problemit të shkallëzueshmërisë që lidhen ngushtë me arkitekturën dhe menaxhimin:

- **Ndërthurja me rrjetet celulare:** Një strategji mitigimi mund të jetë që një pjesë e trafikut që mund të jetë trafiku jo kritik dhe funksionet e menaxhimit t'ju delegohen si procese rrjeteve cloud dhe rrjeteve celulare dhe vetë rrjetet VANET (DSRC) të përdoren për trafikun që është kritik ndaj kohës. Pra në këtë mënyrë një arkitekturë e integruar DSRC dhe 5G shfrytëzon përparësitë e secilit duke reduktuar efektet që mund të vijnë nga shkallëzueshmëria [3].
- **Filtrim dhe agregim i informacionit:** Ndodh shpesh që në qytete me densitete të mëdha automjeteve shumica e informacioneve që dërgohen nga automjetet hasin mbivendosje duke qenë se ato dërgojnë të njëjtin mesazh secili dhe në të njëjtën kohë. Një RSU ose një cluster head mund të grupojë qëndrimin e një grupi automjeteve në një mesazh të vetëm për të ulur ngarkesën pasi në vend të disa automjeteve vetëm ai në krye të grupit raporton.
- **Algoritme rrugëzimi të shkallëzueshme:** Protokollet e rrugëzimit që mbartin informacion gjeografik konsiderohen më të shkallëzueshëm sesa algoritmat e tjerë siç janë ata tabelorë

(proactive) ose zbulues (reactive), pasi shmangin nevojën që çdo nyje të mbajë shumë kërkesa për gjetjen e rrugëzimit apo tabela me shumë hyrje.

- **Aspekte të spektrit radio:** Nëse kemi një rritje të densitetit të nyjeve përtej një bandwidth 10 MHz që përben një kanal DSRC, mund të mendohet përdorimi i më shumë spektri radio që prap nuk është zgjidhja më efektive. Por, kombinimi 5G-V2X do sjellë përdorimin e frekuencave shtesë dhe teknika të tjera të multi-aksesit sic mund të përmendim OFDM.

#### 2.4.1.1 Teknikat e Grupimit (Clustering) në Rrjetet VANET

Sic e përmendëm më lart një nga mënyrat e mitigimit të problemit të shkallëzueshmërisë në VANET dhe të menaxhimit efikas të rrjeteve VANET janë teknikat e grupimit (clustering) të cilat kanë marrë një rëndësi të veçantë si një mënyrë për të reduktuar kompleksitetin dhe për të përmirësuar shkallëzueshmërinë e komunikimit. Ndarja e automjeteve bëhet në grupe logjike që quhen clustera. Secili klaster përbëhet nga disa pjestarë grupi (Cluster members - CM), drejtohet nga një nyje qëndrore (Cluster head - CH) e në disa raste Gateway Nodes përdoren për lidhjen me clustera të afërt siç paraqitet në Figurën 2.5. Koordinimi, transmetimi i të dhënave dhe gjithashtu komunikimi me RSU realizohet nga Cluster Head.

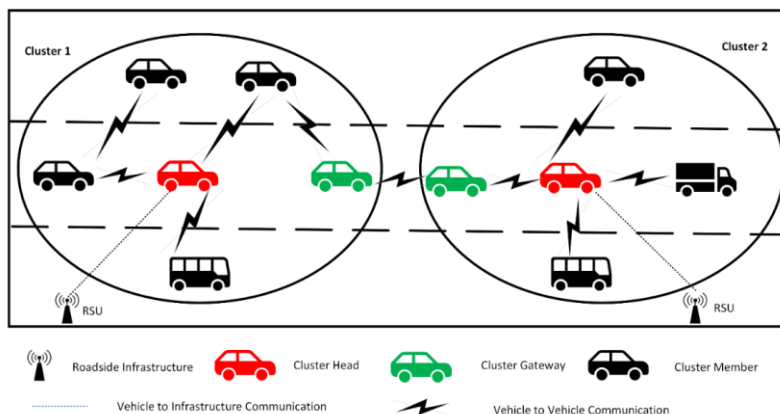
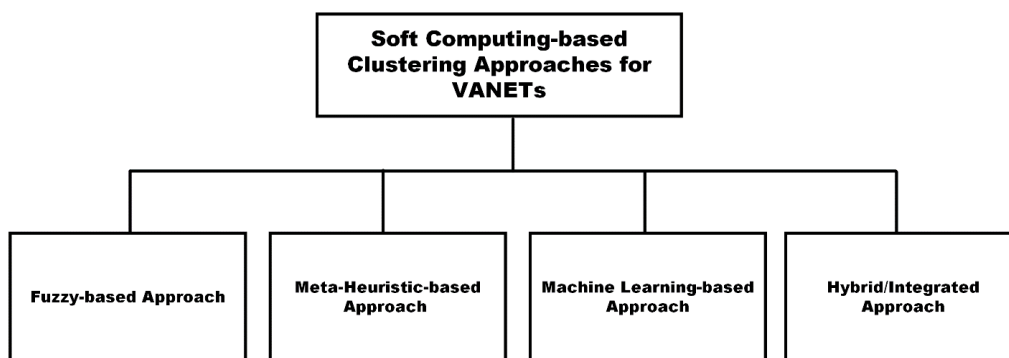


Figura 2.5 Clustering në VANETs.

Avantazhet e përdorimit të clustering janë të shumta. Së pari, reduktohet ngarkesa e komunikimit sepse ulet numri i transmetimeve të panevojshme, pasi mesazhet mund të agregohen dhe filtrohen në nivel clusteri nga CH përpara se të shpërndahen në rrjet. Gjithashtu, rritet stabiliteti i rrjetit duke bërë menaxhim të lokalizuar të rrjetit dhe duke sjellë që ndryshimet topologjike ndodhin më shpesh në nivel clusteri sesa në nivel global. Menaxhimi i burimeve bëhet më efikas, duke përfshirë ndarjen e intervaleve kohore (time slots), kontrollin e fuqisë dhe

koordinimin e identiteteve të njeje. Realizohet shkallëzueshmëri dhe menaxhim më i mirë i rrjetit duke e ndarë një rrjet të madh VANET në një rrjet klasterash të vogla, të cilët menaxhohen më lehtë modul pas moduli.

Por, teknikat e grupimit të clustering në VANET gjithashtu hasin sfida të ndryshme dhe kanë disavantazhet e tyre si p.sh ruajtja e stabilitetit të strukturës së grupit përballë lëvizshmërisë së lartë të automjeteve duke qenë se krijohet varësia nga një CH. Gjithashtu, gjatë kohës që clusterat formohen krijohet overhead i lartë i mirëmbajtjes dhe bëhet i vështirë balancimi i ngarkesës. Përzgjedhja e CH zakonisht bazohet në një kombinim kriteresh, si shpejtësia relative, distanca mesatare nga qendra e clusterit, kohëzgjatja e lidhjes dhe dendësia lokale e fqinjëve. Për të përmirësuar performancën, janë zhvilluar qasje të shumta që përdorin logjikën fuzzy dhe algoritmet e Machine Learning (ML) për të marrë vendime më të qëndrueshme në kohë reale.



*Figura 2.6 Klasifikimi i teknikave Soft Computing për clustering në VANETs.*

Teknikat Soft Computing marrin në konsideratë pasigurinë dhe pasaktësinë dhe kriteret e shumëfishta kur marrin vendime për formacionet e grupeve. Klasifikimi i teknikave Soft Computing për clustering në VANETs paraqitet në Figurën 2.6.

Në modelet klasike përdorimi i logjikës fuzzy lejon vlerësimin e probabilitetit që një automjet të mbetet brenda clusterit për një periudhë të caktuar, duke kombinuar parametra të ndryshëm të hyrjes si distanca, drejtimi i lëvizjes dhe stabiliteti i lidhjes. Teknikat soft computing janë të përshtatshme për mjedise dinamike si VANET, ku parametrat ndryshojnë me shpejtësi dhe vendimet duhet të merren në kohë të shkurtër [16].

Studime të shumta kanë demonstruar efikasitetin e qasjeve fuzzy në krijimin e klasterëve të qëndrueshëm dhe jetëgjatë në VANET. Në literaturën [17], [18] dhe [19], autorët kanë përdorur parametra si distanca, shpejtësia relative, kohëzgjatja e lidhjes dhe drejtimi i lëvizjes dhe ka

rezultuar që këto qasje kanë sjellë clustera të qëndrueshëm dhe rritjen e jetëgjatësisë së clusterit. Rezultate pozitive gjithashtu kanë treguar edhe artikujt [20] dhe [21]. Kufizimet e këtyre studimeve zakonisht vijnë për shkak të mungesës së adaptimit dinamik, dhe përdorimin e parametrave të kufizuar.

Përveç logjikës fuzzy, në literaturë janë zhvilluar edhe qasje metaheuristike dhe algoritme evolutive si Moth Flame Optimization (MFO), Whale Optimization Algorithm (WOA), apo kombinime të Genetic Algorithm me Ant Colony Optimization (GA+ACO). Këto metoda, duke u bazuar në imitim të sjelljes natyrore, kërkojnë të gjejnë konfigurimin optimal të numrit të clusterave [22].

Autorët në studimet [23],[24],[25],[26],[27],[28], kanë propozuar teknika metaheuristike duke përdorur algoritme si MFO, WOA, Harris Hawks, Firefly dhe qasje hibride GA-ACO për të optimizuar formimin dhe stabilitetin e klasterëve në rrjetet VANET. Nga këto punime ka rezultuar që reduktohet numri i klasterave, balancohet ngarkesa e rrjetit dhe gjithashtu rritet efikasiteti i komunikimit. Megjithatë, shumica e tyre vuajnë nga kompleksiteti llogaritës dhe përshtatshmëria e kufizuar në skenarë reale.

ML në procesin e formimit dhe mirëmbajtjes së clusterave përdor teknika statistikore dhe algoritme llogaritëse për të mësuar nga të dhënat, për të bërë parashikime dhe për të ndërmarrë veprime [29].

Studimet [30],[31],[32],[33],[34] përdorin teknika të avancuara të machine learning dhe deep learning për të realizuar grumbullime dinamike dhe të përshtatura në kohë reale në rrjetet VANET, duke përmirësuar stabilitetin e klasterave, efikasitetin dhe parashikueshmërinë e sjelljes së automjeteve. Megjithatë, ato kërkojnë burime të larta llogaritëse dhe modele trajnimi të sofistikuar.

Teknikat e soft computing kanë rezultuar efikase për përmirësimin e performancës së VANET, por secila prej tyre paraqet kufizimet përkatëse. FL është efektive për trajtimin e pasigurive, por nuk mund të mësojë automatikisht nga mjedisi; metaheuristika ofron optimizim të avancuar, por është e kushtueshme në kohë; ndërsa ML ofron adaptueshmëri, por kërkon sasi të mëdha të dhënash dhe fuqi përpunuese.

Prandaj, qasjet hibride që kombinojnë Logjikën Fuzzy (FL) me Machine learning (ML) dhe Metaheuristikën paraqesin zgjidhje afatgjatë duke vendosur së bashku anët pozitive të të gjithë metodave për rezultate më të mira në strukturimin e automjeteve në clustera. Këto qasje hibride

mund të sigurojnë formim më të qëndrueshëm dhe inteligjent të klasterëve, duke balancuar fleksibilitetin, shpejtësinë e reagimit dhe qëndrueshmërinë e rrjetit.

#### **2.4.2 Interferencat midis VANET dhe radarëve**

Me zhvillimin e shpejtë të teknologjive të automatizimit, është shtuar integrimi i sistemeve të radarëve në pothuajse të gjitha automjetet moderne, veçanërisht në ato që përfshijnë Adaptive Cruise Control (ACC), Automatic Emergency Braking (AEB) dhe sisteme të avancuara ndihmëse për drejtuesit (ADAS) [35]. Funksionaliteti i këtyre sistemeve lidhet me bashkëpunimin me sensorë të tjerë, si kamera, LiDAR dhe njësi komunikimi të rrjeteve VANET (DSRC ose C-V2X). Bashkërendimi i të dhënave që vijnë nga radarët dhe njësitë e komunikimit përbën një sfidë të rëndësishme në rrjetet VANET në shumë aspekte si sinkronizimi kohor gjithashtu edhe koordinimi i burimeve të ndryshme të informacionit, të cilat shpesh kanë vonesa dhe rezolucione të ndryshme.

Zakonisht, kur një radar detekton një objekt në fushën përpara automjetit ndërsa komunikimi Vehicle-to-Vehicle (V2V) transmeton informacione për automjete që ndodhen jashtë diapazonit të radarit lind nevoja për koordinimin e këtyre burimeve të të dhënave. Kjo gjë kërkon algoritme të përpunimit të avancuar dhe mekanizma bashkërendimi në kohë reale, në mënyrë që të arrihet një vlerësim i unifikuar i mjedisit. Një tjetër sfidë e rëndësishme është interferenca elektromagnetike midis radarëve dhe VANET [36]. Edhe pse radarët zakonisht operojnë në brezat 24 GHz dhe 77 GHz, ndërsa DSRC/5G-V2X funksionon në rreth 5.9 GHz, rritja e densitetit të automjeteve në mjediset urbane inteligjente rrit mundësitë e interferencave midis tyre. Për këtë arsye, janë propozuar skema të koordinimit të pulsimeve të radarëve përmes komunikimit VANET, ku automjetet sinkronizojnë transmetimet për të reduktuar interferencat. Kjo metodë njihet si Vehicle-Assisted Radar Sensing dhe mbështetet në një protokoll MAC të sinkronizuar, i cili lejon ndarjen efektive të spektrit të radarit ndërmjet automjeteve.

Për përmirësimin e sistemeve ADAS, integrimi i të dhënave të radarëve me ato të rrjeteve VANET luan një rol të rëndësishëm dhe sjell rritjen e sigurisë rrugore në Smart Cities. Për të arritur një bashkekzistencë efektive, kërkohet zbatimi i teknikave të ndarjes dinamike të kanaleve (Dynamic Channel Allocation), radio-cognitive, si dhe algoritmeve të menaxhimit të interferencës në kohë reale, të cilat lejojnë përshtatjen automatike të frekuencave sipas ngarkesës spektrale. Gjithashtu kur automjetet janë shumë afër njeri-tjetrit interferenca midis radarëve

mund të shmanget përmes koordinimit kohor të transmetimeve, përdorimit të polarizimeve të ndryshme (vertikal, horizontal), ose aplikimit të filtrimit hapësinor (beamforming) për izolimin e sinjaleve [37] [38].

Kushtet atmosferike përbëjnë një sfidë tjetër në performancën e radarëve dhe besueshmërinë e integritimit me rrjetet VANET. Probleme atmosferike si mjegulla, shiu dhe bora mund të shkaktojnë zbehje të sinjalit ose reflektime të gabuara, duke prodhuar sinjale “false positive” apo “false negative”. Radarët multi-frekuencorë dhe ata me polarizim të shumëfishtë mund të përdoren për të kompensuar ndikimet atmosferike dhe për të reduktuar efektet e “false positive” apo “false negative”. Gjithashtu, algoritmet e përpunimit të avancuar të sinjalit, filtrat adaptivë, dhe teknikat beamforming rrisin ndjeshëm qëndrueshmërinë e sistemit. Përdorimi i algoritmeve të inteligjencës artificiale dhe machine learning mundëson mësimin adaptiv të sistemit në kohë reale, duke reduktuar ndjeshëm sinjalet e pasakta dhe duke përmirësuar interpretimin e të dhënave [39] [40].

Integrimi i rrjeteve VANET me sistemet e radarëve përbën fushë kërkimore strategjike për zhvillimin e sistemeve inteligjente të transportit dhe të automjeteve autonome si psh. zhvillimi i teknikave adaptive të menaxhimit të spektrit, dizajni i antenave inteligjente dhe integrimi i platformave të përbashkëta që mund të sigurojnë koordinim të plotë në Smart Cities. Megjithëse përfitimet janë të mëdha si: rritja e sigurisë, vlerësimi më i saktë i mjedisit dhe komunikimi më i saktë midis automjeteve, sfidat teknike që lidhen me interferencat elektromagnetike, kushtet atmosferike, dhe sinkronizimin kohor mbeten akoma të pazgjidhura [41].

### **2.4.3 Particionimi frekuent**

Një nga sfidat kryesore të rrjeteve VANET është particionimi frekuent për shkak të lëvizshmërisë së lartë dhe topologjisë shumë dinamike. Kjo bën që performanca e tyre të bjerë në mjedise me dendësi të ulët trafiku ose infrastrukturë të kufizuar komunikimi, ku transmetimi i të dhënave nuk mund të garantohet në mënyrë të vazhdueshme. Për ti dhënë zgjidhje këtij problemi është zhvilluar koncepti Vehicular Delay Tolerant Networks (VDTN), një kategori e VANET. Rrjetet VDTN mund të shërbejnë për të marrë informacione të lidhura me mjedisin dhe infrastrukturën [6]. Këto informacione të cilat janë jo kritike ndaj kohës mund të mbarten dhe dërgohen me anë të VDTN në destinacion duke shmangur nevojën e përdorimit të 5G dhe duke ulur në këtë mënyrë ngarkesën e rrjeteve 5G.

Me rritjen e nevojës që rrjetet VANET të aplikohen në mjedise jo perfekte dhe në ambiente me konektivitet të limituar, ato janë zgjeruar në VDTN [42]. Rrjetet VDTN bazohen në strategjinë store-carry-forward, (ruaj, mbart dhe përcill mesazhin) siç paraqitet në Figurën 2.7. Në këtë model, një automjet që nuk mund të transmetojë menjëherë një mesazh e ruan atë në memorien e vet derisa të krijohet një lidhje e re me një nyje të përshtatshme për ta përcjellë më tej.

Kjo teknikë e përcjelljes është efektive në skenarë me dendësi të ulët ose zona rurale, ku automjetet hasen rrallë dhe lidhjet ndërmjet tyre janë të përkohshme. Duke përdorur memorien e brendshme dhe mekanizmat e ruajtjes së të dhënave, VDTN rrit probabilitetin që një mesazh të dorëzohet me sukses, edhe në kushte ku infrastruktura për dërgimin nëpërmjet rrjeteve tradicionale mungon.



*Figura 2.7 Një rrjet VDTN [42].*

VDTN ndryshon nga VANET standard në disa elemente. Më poshtë paraqiten disa prej tyre. Në VDTN nuk ka një rrugë fikse të paracaktuar që duhet të ndjekë një mesazh për të arritur në destinacion, por mesazhi mbahet nga automjeti derisa arrin të gjejë mundësi për transferimin e mesazhit sa më afër destinacionit. Për këtë arsye lind nevoja e protokolleve të rrugëzimit të DTN [43]. Protokollat më të përdorura përfshijnë [44] [45]:

- Epidemic Routing: ku çdo automjet shpërndan mesazhet tek çdo nyje që takon, duke siguruar shpërndarje të gjerë, por me kosto të lartë të burimeve. Duke u bazuar në

teknikën flooding ky protokoll u dërgon informacione të gjitha nyjeve që tashmë se kanë atë. Ka një probabilitet të lartë të dërgimit dhe vonesa të vogla të dërgimit kur kemi një gjerësi brezi të lartë dhe madhësi të mjaftueshme të buffer-it të nyjeve.

- Spray and Wait: kufizon numrin e kopjeve të mesazhit dhe balancon mes efikasitetit dhe konsumit të burimeve. Zhvillimi i këtij protokollit ka reduktuar konsumimin e burimeve ndryshe nga sa rezulton në rrugëzimin Epidemic. Gjithashtu ky protokoll përdor teknikën flooding por gjeneron një numër të kufizuar të kopjeve të mesazhit. Ky protokoll ka dy faza, shpërnda dhe prit ku në fillim shpërndahet mesazhi në të gjitha nyjet e parashikuara dhe më pas këto nyje presin që mesazhi të dërgohet në destinacion.
- P<sub>Ro</sub>PHET Routing (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity): përdor probabilitete historike të kontakteve midis nyjeve për të marrë vendime më efektive për përcjelljen e mesazhit në destinacion. Nyjet që janë takuar më parë kanë më shumë gjasa të takohen sërish në të ardhmen. Në këtë protokoll përdoret një metrikë probabilistike e quajtur parashikueshmëri e dorëzimit (delivery predictability), e shënuar si  $P(a, b)$ , e cila vlerëson mundësinë që nyja a të mund ta dorëzojë mesazhin te nyja b.

Aplikimet praktike të VDTN janë të shumta duke përfshirë shërbime që konsiderohen jo kritike dhe me tolerancë ndaj vonesave, mbledhja e të dhënave mjedisore dhe analiza statistikore e trafikut, deri te komunikimi emergjent në zona pa mbulim rrjeti dhe situata katastrofash natyrore. Kur infrastruktura e telekomunikacionit dëmtohet në raste katastrofash, VDTN mund të sigurojë shkëmbimin e informacionit nëpërmjet ekipeve të emergjencës.

## KREU III

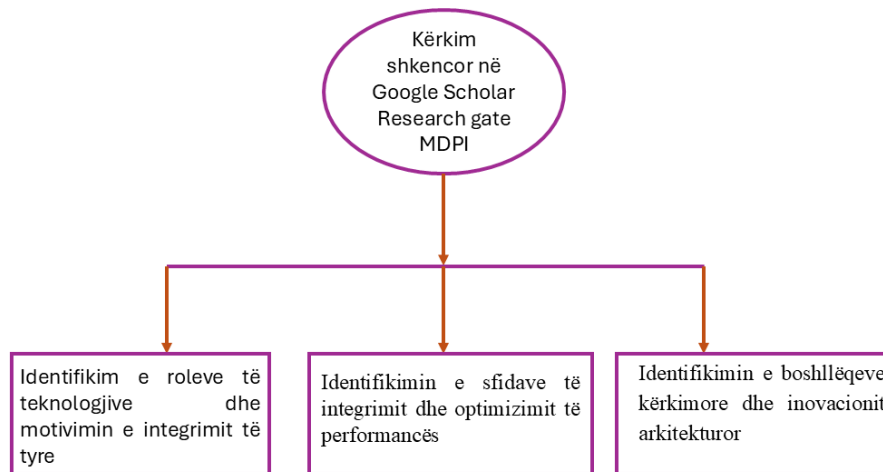
### RISHIKIMI I LITERATURËS

#### 3.1. Hyrje

Qytetet e zakonshme për tu transformuar në Smart Cities përdorin zgjidhje të ndryshme teknologjike [46],[47], ku më kryesoret janë VANETs, VDTN, Internet of Things (IoT) dhe gjeneratën e pestë (5G) të rrjeteve celulare [5],[48]. Studimi i literaturës ekzistuese është një element shumë i rëndësishëm i këtij studimi pasi përmes një analize sistematike të literaturës ekzistuese, përcaktohen kufizimet e modeleve aktuale për integrimin e 5G, VDTN, IoT dhe VANET dhe shikohet nevoja për një arkitekturë të integruar dhe inteligjente komunikimi, që kombinon shpejtësinë e 5G, fleksibilitetin e VDTN, dhe ndërveprimin e IoT dhe VANET [49].

Ky kapitull paraqet një proces analitik që orienton drejt objektivave dhe kontributit shkencor të tezës. Puna jonë kërkimore bazohet në një Rishikim Sistemik të Literaturës (SLR), me synimin për të mbledhur, analizuar dhe sintetizuar punimet më përfaqësuese që trajtojnë integrimin e këtyre katër teknologjive. SLR është raportuar në përputhje me udhëzimet Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) [50]. Struktura PRISMA ofron një proces transparent dhe të riprodhueshëm për identifikimin, shqyrtimin dhe përfshirjen e studimeve përkatëse, duke dokumentuar njëkohësisht arsyet e përjashtimit të pjesës tjetër të tyre.

Hapat e rishikimit të literaturës paraqiten në mënyrë skematike në Figurën 3.1. dhe përfshijnë tre shtylla kryesore që lidhen me identifikim e roleve teknologjike të VANET, VDTN, IoT, 5G, dhe motivimi i integritit të tyre, identifikimin i sfidave të integritit dhe optimizimit të performancës, gjithashtu identifikimin e boshllëqeve kërkimore dhe ide për inovacion arkitekturor.



*Figura 3.1 Hapat e rishikimit të literaturës.*

Rishikimi i literaturës është strukturuar rreth tre pyetjeve kërkimore.

#### **Rolet Teknologjike dhe Motivimet e Integritit**

**RQ1:** Cilat janë rolet individuale dhe të kombinuara të VANET, VDTN, IoT dhe 5G në përmirësimin e funksioneve të Smart Cities, dhe si është trajtuar integrimi i tyre në literaturë?

#### **Sfidat e Integritit dhe Optimizimi i Performancës**

**RQ2:** Cilat janë sfidat kryesore dhe strategjitë e optimizimit në integrimin e këtyre teknologjive në skenarë të Smart Cities me lëvizshmëri të lartë dhe vëllim të madh të dhënash?

#### **Boshllëqet Kërkimore dhe Inovacioni Arkitekturor**

**RQ3:** Cilat boshllëqe kërkimore mbeten, dhe si mund të kontribuojë një arkitekturë konceptuale me shumë shtresa në kapërcimin e sfidave të integritit në Smart Cities?

Procesi i kërkimit është zhvilluar duke përdorur databazat më të njohura shkencore ndërkombëtare, si Google Scholar, ResearchGate dhe MDPI gjithmonë duke u fokusuar në për zgjedhjen e artikujve që gjithashtu janë të indeksuara në databaza bibliografike të njohura si Scopus dhe IEEE Xplore. Kërkimi në këto databaza është realizuar bazuar në një listë stringash të kombinuara dhe janë përfituar 109 artikuj shkencorë në total.

Termet e përdorura janë renditur si më poshtë:

- ‘VANET’ AND ‘IoT’ AND ‘5G’ AND ‘SMART CITIES’
- ‘VANET’ AND ‘SMART CITIES’ AND ‘5G’
- ‘VANET’ AND ‘SMART CITIES’ AND ‘IoT’
- ‘5G’ AND ‘IoT’ AND ‘SMART CITIES’
- ‘5G’ AND ‘VDTN’ AND ‘SMART CITIES’
- ‘Smart Cities’ AND ‘VANET’
- ‘Smart Cities’ AND ‘VDTN’
- “Smart Cities” AND ‘IoT’
- “Smart Cities” AND ‘5G’

Përzgjedhja e kërkimeve shkencore u bazua në katër fazat e PRISMA-s:

1. **Identifikimi:** Nga kërkimi fillestar u grupuan artikuj nga tre databaza.
2. **Screening:** Pas heqjes së duplikatëve, studimet u filtruan sipas titujve dhe abstrakteve, duke përjashtuar punimet e publikuara para vitit 2019, ato që nuk ishin në gjuhën angleze dhe burimet që nuk ishin peer-reviewed.
3. **Përshtatshmëria:** Artikujt me tekst të plotë u vlerësuan duke përdorur kriteret e përcaktuara të përfshirjes/përjashtimit
4. **Përfshirja:** Një grup përfundimtar i përzgjedhur studimesh u mbajt për rishikim dhe analizë të thelluar.

#### **Kriteret e përfshirjes:**

- Artikujt e publikuar midis viteve 2019 - 2025 për të siguruar kërkime të përditësuara.
- Artikuj që integrojnë të paktën dy teknologji: VANET, VDTN, IoT, 5G në kontekstin e Smart Cities.
- Artikuj që ofrojnë një qasje metodologjike, arkitekturore ose eksperimentale për integrimin e këtyre teknologjive, pa përjashtuar artikuj të tjerë me qasje ndihmëse.

#### **Kriteret e përjashtimit:**

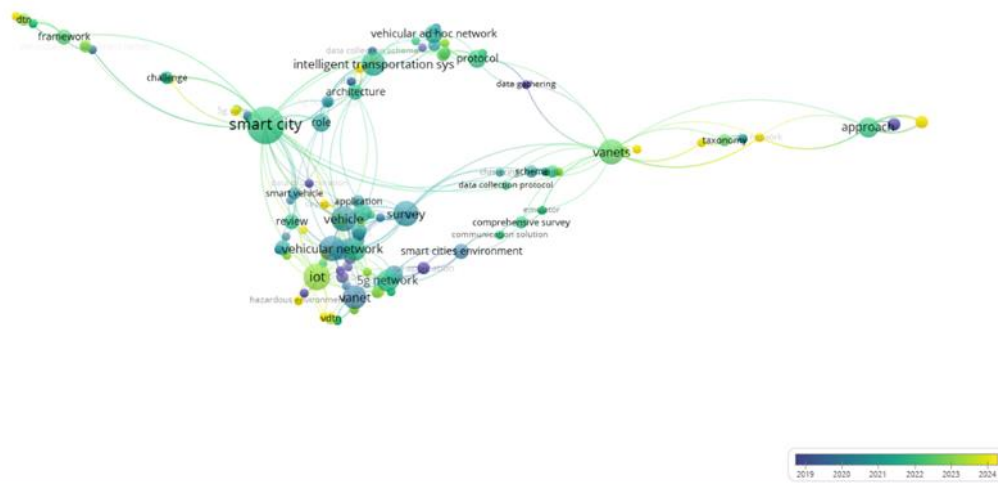
- Punimet që nuk janë në gjuhën angleze.

- Artikujt e përgjithshëm që nuk përfundonin me rezultate konkrete ose studime që nuk ishin publikuar në revista shkencore apo konferenca ndërkombëtare të indeksuara (si Scopus, IEEE Xplore, Springer, MDPI etj.).
- Artikujt që studionin një teknologji të vetme pa ndonjë integrim.

Në fund, artikujt u analizuan me lexim të plotë të përmbajtjes, duke u bazuar në disa kritere cilësie për të siguruar lidhjen e tyre me studimin tonë.

Pas leximit të plotë të përmbajtjes, u përzgjedhën artikujt që ishin më të lidhur ngushtë me rishikimin tonë sistematik. U realizua një analizë tematike dhe krahasuese mbi artikujt e zgjedhur, bazuar në temat kryesore që lidhen me secilën teknologji dhe mënyrën se si ato bashkëveprojnë në arkitekturën e qyteteve inteligjente, si dhe u evidentuan avantazhet dhe sfidat kryesore të çdo qasjeje. Gjithashtu, u identifikuan edhe boshllëqet ekzistuese dhe u propozua një strukturë arkitekturore shtesore që integron katër teknologjitë kryesore me një qasje fleksibël dhe të shkallëzueshme.

Programi VOSviewer [51] u përdor për të ndërtuar rrjetin e bashkë-shfaqjes së fjalëve kyçe dhe për të grupuar literaturën përkatëse.



*Figura 3.2 Rrjeti i bashkë-shfaqjes së fjalëve kyçe ne literaturën e lidhur me VANET e gjeneruar me VOSviewer.*

Figura 3.2 paraqet hartën e bashkë-shfaqjes së fjalëve kyçe të gjeneruar me VOSviewer. Klasat (të dalluara me ngjyra) përfaqësojnë përqendrime tematike kryesore brenda kërkimit mbi rrjetet e automjeteve. Studimet e hershme (2019-2020, me ngjyrë blu) theksuan aspektet themelore si mbledhja e të dhënave, shpërndarja dhe protokollet. Me kalimin e kohës, fokusi i kërkimeve u zgjerua drejt teknologjive në zhvillim, përfshirë IoT dhe 5G (jeshile dhe e verdhë, 2022-2025), si dhe drejt aplikacioneve më të gjera në qytetet inteligjente dhe sistemet inteligjente të transportit.

### **3.2 Rëndësia e integritit të VANET dhe VDTN me 5G dhe IoT për Smart Cities**

Në kontekstin e Smart Cities, një numër i madh aplikimesh mbështeten nga teknologjitë VANET, VDTN, IoT dhe 5G. Siç paraqitet dhe në punimin tonë [1], këto teknologji luajnë rol kryesor në zhvillimin e sistemeve inteligjente të transportit, makinave autonome, menaxhimit të trafikut dhe parkimit, si dhe dhënien e përparësisë për automjetet e emergjencës. Ato gjithashtu mbështesin monitorimin e infrastrukturës, rrjetet energjetike smart, menaxhimin e mbetjeve dhe ujit, sigurinë publike dhe ndriçimin smart. Për qytetarët dhe turistët në fushën sociale e turistike këto teknologji ndihmojnë në menaxhimin e eventeve dhe ofrojnë shërbime digjitale.

Për të kuptuar më mirë aftësitë e secilës teknologji për qëllime dhe shërbime të Smart Cities, ne kemi rishikuar funksionet e tyre kryesore:

VANETs mbështesin komunikimin në kohë reale mes automjeteve (V2V) dhe mes automjeteve dhe infrastrukturës (V2I). Zhvillimi i Smart Cities mund të shfrytëzojë rrjetet e transportit publik për të forcuar lidhjen IoT dhe për të ulur kostot e infrastrukturës [6].

IoT dhe sensorët ndihmojnë në monitorimin e infrastrukturës në kohë reale dhe në mbledhjen e të dhënave.

VDTN rrit besueshmërinë në zonat ku komunikimi i rrjetit është i ndërprerë dhe ndihmon gjithashtu në menaxhimin e burimeve të rrjetit për informacionin që nuk është kritik dhe për t'u transmetuar në kohë reale [4], [6].

5G mundëson komunikim me vonesë të ulët, lidhje masive pajisjesh dhe transmetim të të dhënave me gjerësi të madhe brezi, të cilat janë thelbësore për Smart Cities dhe aplikacionet IoT. Megjithatë, këto aftësi sjellin edhe sfida të reja sigurie që kërkojnë zgjidhje të avancuara si sistemet e zbulimit të sulmeve/ kërcënimeve/ndërhyrjeve të bazuara në Machine Learning [52],

[53]. 5G ofron aftësitë e duhura për të përballuar rritjen e numrit të njerëzve në zonat urbane, numrin e pajisjeve, numrin e sensorëve dhe sasinë e madhe të të dhënave që ato gjenerojnë.

Në Tabelën 3.1 paraqiten kontributet dhe sfidat e VANET, VDTN, IoT, 5G për Smart Cities.

Tabela 3.1 Kontributet dhe sfidat e VANET, VDTN, IoT, 5G për Smart Cities

Teknologjia	Roli në Ekosistemin e Smart Cities	Aplikime Kryesore dhe Kontributet	Aspekte Kërkimore, Përparësi dhe Sfida
<b>VANET (Vehicular Ad-hoc Networks)</b>	Rrjetet dinamike VANET përfaqësojnë komunikimin “vehicle-to-everything” (V2X), që mundëson bashkëveprimin në kohë reale ndërmjet automjeteve, infrastrukturës dhe këmbësorëve [46], [47]. VANET përbën shtyllën themelore të Sistemeve Inteligjente të Transportit (ITS).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Siguria dhe emergjencat:</b> bëhet i mundur sinjalizimi për përplasje, frenim emergjent, paralajmërim për zona të rrezikshme dhe aksidente.</li> <li>- <b>Trafiku:</b> monitorim në kohë reale i fluksit të automjeteve, njoftime për punime ndërtimi, bllokime dhe devijime rruge [54].</li> <li>- <b>Mjedisi:</b> përditësime dhe monitorime të temperaturës, ndotjes akustike dhe ajrore, si dhe parametrave meteorologjikë [55].</li> <li>- <b>Energjia:</b> optimizim i rrjedhës së energjisë duke bërë shpërndarje informacioni për konsum energjie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Sfidat teknike:</b> ndërprerjet e shpeshta të lidhjes në zona rurale dhe humbja e sinjalit për shkak të lëvizshmërisë së lartë.</li> <li>- <b>Siguria</b> [15]: rrjetet VANET paraqiten si objektivi i sulmeve të tipit <i>Man-in-the-Middle</i> (MITM) ku kërkimet aktuale propozojnë algoritme kaotike multi-universale për mbrojtje [56].</li> <li>- <b>Performanca:</b> Edge/Fog Computing kombinohet në mënyrë shumë efektive me rrjetet VANET dhe përmirëson ndjeshëm vonesën e transmetimit dhe cilësinë e shërbimit (QoS) në Smart Cities [57].</li> </ul>
<b>VDTN (Vehicular Delay-</b>	VDTN është konceptuar si zgjidhje plotësuese ndaj	- <b>Mbledhja e të dhënave urbane:</b> automjetet si nyje lëvizëse përdoren për të	- <b>Avantazhet:</b> siguron ruajtjen e lidhjeve fund më fund për transferim të qëndrueshëm të

<p><b>Tolerant Networks)</b></p>	<p>kufizimeve të VANET, sidomos në skenarë me dendësi të ulët trafiku ose kushte me ndërprerje të shpeshta (frequent partition) [4]. Kjo teknologji përdor paradigmen “store-carry-forward” për të siguruar komunikim të vazhdueshëm edhe në mungesë të infrastrukturës së komunikimit midis automjeteve.</p>	<p>transportuar të dhëna mjedisore dhe infrastrukturore [58].</p> <p>- <b>Aplikime tolerante ndaj vonesës:</b> raportime mbi gjendjen e rrugëve, matje smart të energjisë, informacion për klimën [59].</p> <p>- <b>Skema DC4LED:</b> paraqet se si modeli i lëvizshmërisë së automjeteve përdoret për shpërndarje të dhënash me efikasitet energjie dhe shkallëzueshmëri të lartë [58].</p>	<p>informacionit në rrjete me lidhje të paqëndrueshme, duke ruajtur integritetin e të dhënave.</p> <p>- <b>Sfidat:</b> mungesa e standardizimit të protokolleve VDTN, koordinimi me infrastrukturën rrugore dhe integrimi me rrjete të tjera.</p>
<p><b>IoT (Internet of Things)</b></p>	<p>IoT simbolizon motorin kryesor në Smart Cities, duke lidhur sensorë, pajisje dhe sisteme infrastrukturore për mbledhjen e të dhënave në kohë reale [60]. Ajo krijon një ekosistem transmetimi informacioni të vazhdueshëm që mundëson automatizim urban.</p>	<p>- <b>Infrastrukturë smart:</b> duke realizuar monitorimin e ndriçimit publik, mbetjeve dhe sigurisë [60].</p> <p>- <b>Menaxhim trafiku:</b> kombinimi i IoT, 5G dhe Edge Computing siguron parashikim të trafikut me saktësi të lartë [61], [62].</p> <p>- <b>Internet of Vehicles (IoV):</b> zgjerim i konceptit të IoT që lidh automjetet me infrastrukturën dhe rrjetet për transport më efikas [63].</p>	<p>-<b>Avantazhet:</b> mundëson lehtësi në ndërveprimin mes sistemeve dhe teknologjive të ndryshme dhe krijon inteligjencë të shpërndarë në të gjithë qytetin.</p> <p>- <b>Sfidat:</b> çështje të sigurisë së të dhënave, privatësisë, dhe përshtatjes ndër-platformë.</p>
<p><b>5G (Fifth</b></p>	<p>Rrjetet 5G janë baza</p>	<p>- <b>ITS dhe V2X:</b> lejon</p>	<p>-<b>Avantazhet:</b> disponueshmëria</p>

<p><b>Generation Mobile Networks)</b></p>	<p>e infrastrukturës moderne të komunikimit në Smart Cities. Këto rrjete mundësojnë transmetim të dhënash me vonesë ultra të ulët, kapacitet të lartë, dhe shkallëzueshmëri të avancuar të rrjetit [3], [64]. Kështu realizohet sinkronizim i menjëhershëm midis automjeteve, sensorëve dhe qendrave të përpunimit të të dhënave</p>	<p>koordinim në kohë reale të automjeteve autonome, menaxhim të semaforëve etj. [65], [66]. – Në shëndetësi dhe emergjenca: mbështet telemjekësinë, shërbimet kritike dhe shërbime digjitale për qytetarët [48].</p> <p>- <b>Monitorim mjedisor dhe infrastrukturor</b> si ndotja, sinjalizim emergjent, ndërtesa inteligjente etj. [3].</p>	<p>24/7 mundëson besueshmëri të lartë [67].</p> <p>- <b>Sfidat:</b> ato më kryesore lidhen me çështje të dobësimi të sinjalit, mbulimit jo uniform dhe kosto të lartë infrastrukturore.</p> <p>- Modelet <b>5G NR V2X</b> po evoluojnë drejt kombinimit me AI për menaxhim adaptiv të rrjetit dhe siguri autonome.</p>
---	--	--	--

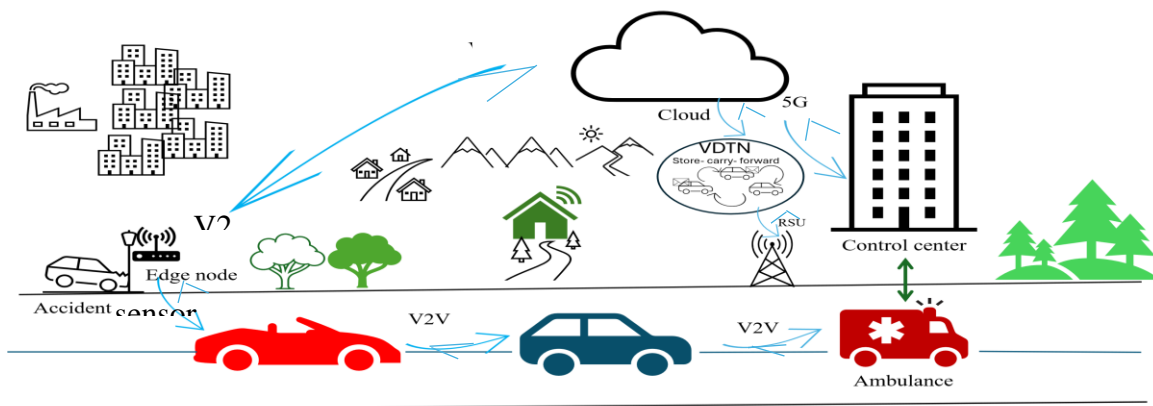


Figura 3.3 Shembull i komunikimit midis IoT, VDTN, VANET dhe 5G në një Smart City.

Figura 3.3 ilustron një shembull se si integrimi i IoT, VDTN, VANET dhe 5G mundëson një arkitekturë të qëndrueshme dhe adaptive për qytetet inteligjente. Një sensor IoT, i vendosur përgjatë rrugës, zbulon një aksident dhe menjëherë transmeton të dhënat tek automjetet përreth dhe tek infrastruktura rrugore përmes komunikimit V2V dhe V2I. Kjo siguron që alarmet kritike të arrijnë tek drejtuesit e mjeteve në afërsi pa vonesë.

Më pas, të dhënat e aksidentit përpunohen në një nyje edge (për vendimmarrje të shpejtë pa kaluar në cloud). Nëse rrjeti është i disponueshëm, 5G dërgon sinjale në qendrën e kontrollit. Nëse nuk ka lidhje rrjeti, përdoren VDTN për të ruajtur dhe transmetuar mesazhet.

Në të njëjtën kohë, komunikimi V2V i lejon automjetet pranë ngjarjes të shkëmbejnë informacion kritik në kohë reale dhe të njoftojnë automjetet e emergjencës, si ambulancat, për të ulur kohën e reagimit. Ambulanca e lidhur merr njoftime prioritare përmes komunikimit V2I dhe URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications).

Në vazhdim të roleve të përshkruara të secilës teknologji në ekosistemin e Smart Cities [68][69], një aspekt tjetër që kërkon zgjidhje është siguri i qëndrueshmërisë së komunikimit në rrjetet VANET [70], në situata me vonesa ose lidhje të paqëndrueshme, shkëputje të shpeshta dhe ngarkesa të mëdha të rrjetit. Në këtë kontekst, VDTN paraqiten si një komponent thelbësor që plotëson kufizimet e rrjeteve VANET dhe forcon arkitekturën e integruar të komunikimit në Smart Cities [71].

Ndryshe nga 5G dhe IoT [72], VDTN [73][74] përfaqëson llojin e rrjetit të projektuar për komunikim në mjedise me shkëputje të shpeshta, lidhje të ndërprera ose me vonesa të konsiderueshme.

VDTN dhe qasja e *store-carry-forward*, ku automjetet ruajnë mesazhet e marra dhe i transmetojnë ato kur krijohet një lidhje e re e mundshme, është jetike për zona me densitet të ulët automjetesh, si në zonat rurale, aksidente apo situata emergjente, ku lidhja direkte V2V/V2I mund të mos jetë gjithmonë e qëndrueshme.

Integrimi i VDTN me VANET rrit efikasitetin e komunikimit dhe shkallën e dorëzimit të paketave në rrjete me topologji dinamike. Gjithashtu integrimi me IoT dhe 5G [75][76], krijon një arkitekturë të shtresuar smart ku 5G mund të trajtojë të dhënat kritike dhe të ndjeshme ndaj kohës, ndërsa VDTN mund të marrin përsipër të dhënat më pak urgjente, duke ofruar një zgjidhje më efikase dhe me kosto të ulët.

### 3.3 Klasifikimi dhe Prioritizimi i të Dhënave

Në Smart Cities gjithashtu një faktor për rritjen e mbingarkesës në rrjetet 5G përbën dhe rritja e numrit të pajisjeve IoT. Duke marrë parasysh funksionalitetin e rrjeteve tolerante ndaj vonesave, të dhënat jo-kritike mund të ruhen përkohësisht në nyje të rrjetit dhe të përcillen më vonë duke reduktuar ndjeshëm ngarkesën e rrjetit 5G. Integrimi i DTN-ve [77] me 5G për offloading krijon një strukturë hibride komunikimi që balancon performancën, koston dhe shkallëzueshmërinë për aplikacionet e qyteteve inteligjente.

Ne propozojmë një strukturë që do të integrojë 5G me VDTN për të rritur efikasitetin e rrjeteve të komunikimit në Smart Cities. Struktura e propozuar përdor klasifikim e të dhënave në kritike dhe jo-kritike duke bërë prioritizim smart të të dhënave dhe duke dërguar të dhëna kritike si informacionet e trafikut, alarme emergjente me 5G [78][79] dhe ato jo kritike si raportet e monitorimit të infrastrukturës rrugore, monitorimi i mjedisit si ndotja, cilësia e ajrit drejtohen drejt VDTN.

Blokkema e strukturës së propozuar paraqitet në Figurën 3.4.

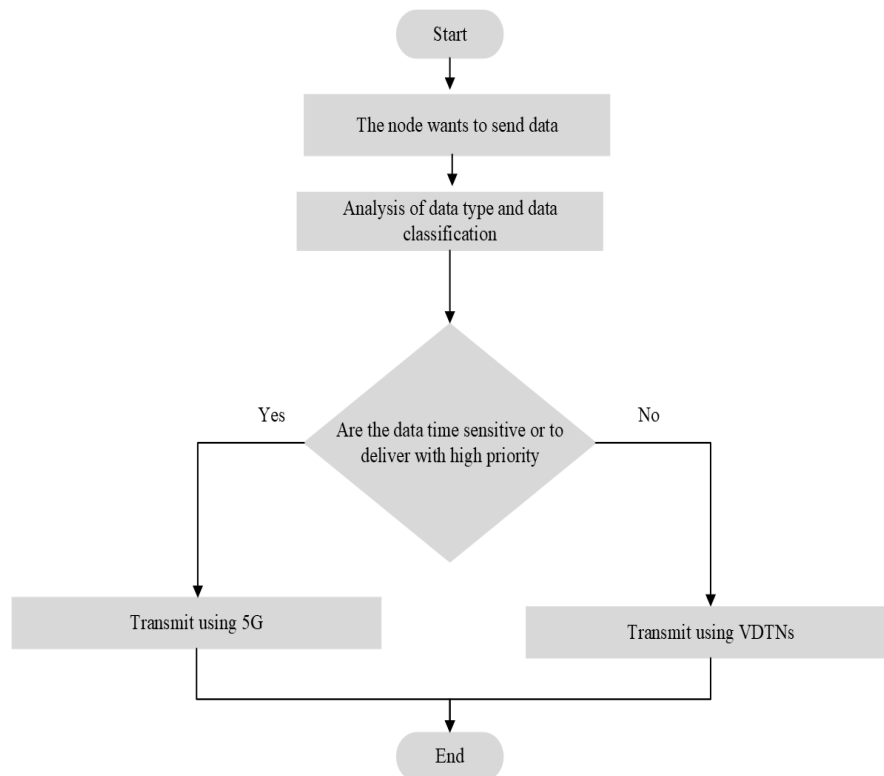


Figura 3.4 Blokkema e strukturës së propozuar.

Për ta bërë të mundur këtë, mund të përdoret një algoritëm klasifikimi të dhënash për të vlerësuar urgjencën e çdo pakete të dhënash bazuar në disa faktorë, duke përfshirë ndjeshmërinë ndaj kohës, llojin e aplikacionit dhe kërkesat e sistemit.

Sipas bllokskemës së mësipërme, në momentin që një nyje kërkon të transmetojë të dhëna, ajo bën një analizë të llojit të të dhënave dhe klasifikimin e të dhënave. Pas analizës së të dhënave shikohet nëse të dhënat janë sensitive ose duhet të dërgohen me prioritet të lartë. Nëse konfirmohet që të dhënat janë sensitive ato dërgohen me anë të 5G dhe nëse jo atëherë të dhënat përcillen në mënyrë oportuniste. Në bazë të këtij algoritmi, rrugëzimi bazohet në kushtet reale të rrjetit si psh ngarkesa, gjendja e rrjetit etj.

### **3.4 Rishikimi i literaturës ekzistuese për integrimin e VANET me IoT, 5G dhe VDTN**

Në literaturën bashkëkohore, një sërë punimesh janë fokusuar në krijimin e arkitekturave të integruara që mundësojnë ndërveprimin e pjesshëm të rrjeteve VANET me teknologjitë IoT, 5G ose VDTN.

#### **3.4.1 Qasjet e bazuara në integrimin VANET-5G**

Në rishikimin e literaturës, ne kemi parë sesi autorët e kanë trajtuar kombinimin e dy apo më shumë teknologjive për të përmirësuar infrastrukturën në Smart Cities.

Artikulli [80] paraqet një studim mbi ndërthurjen e teknologjive 5G dhe VANET duke u integruar gjithashtu me edge/fog computing dhe big data. Propozohet një arkitekturë hibride që kombinon vehicular cloud - vehicular edge computing, duke synuar përmirësimin e sigurisë, menaxhimit të trafikut dhe ofrimin e shërbimeve të informimit në kohë reale. Megjithatë ky kombinim shihet premtues për përpunimin e të dhënave, për të reduktuar vonesat dhe rritur efikasitetin në Smart Cities, ka sfida si heterogjeniteti i të dhënave, paqëndrueshmëria e topologjisë së rrjetit dhe kostot e larta të infrastrukturës edge/fog, që kufizojnë zbatueshmërinë e menjëhershme në shkallë reale.

Në punimin [81], paraqitet një arkitekturë e re VANET dhe 5G e bazuar në fog computing, e cila përdor kapacitetet e 5G Multi-access Edge Computing (MEC) për menaxhimin dinamik të trafikut në Smart Cities. Arkitektura sjell një rritje të ndjeshme të QoS dhe shkallëzueshmërisë së shërbimeve. Megjithatë, sfida praktike autorët evidentojnë se kërkon investime të

konsiderueshme në infrastrukturën MEC dhe burime të specializuara mirëmbajtjeje, që përbëjnë sfida ekonomike dhe operacionale për zbatimin në Smart Cities.

Studimi [82] fokusohet në teknikat e grupimit (clustering) brenda rrjeteve VANET të mbështetura nga 5G, me qëllim rritjen e performancës dhe shkallëzueshmërisë në mjedisë urbane të dendura. Autorët paraqesin grupime në tre dimensione kryesore: specifike për rrjetin, specifike për aplikacionin, dhe të bazuara në topologji, duke theksuar se grupimi topologjik është më efikas për menaxhimin e trafikut. Kufizimi kryesor qëndron në mungesën e një validimi empirik dhe simulimeve me trafik real.

Artikulli [83] studion ndikimin e teknologjisë Cellular-V2X (C-V2X), të kombinuar me 5G dhe inteligjencë artificiale, në sigurinë rrugore dhe efikasitetin e trafikut krahasuar me DSRC. Duke përdorur mjedisin simulues SUMO shihet se vonesat e komunikimit reduktohen me 99% në aplikime të automjeteve autonome. Shihen si kufizime të kësaj qasjeje humbja e paketave, vonesat në transmetim dhe rrezikshmëria ndaj sulmeve kibernetike.

Në [84], autorët prezantojnë studimin mbi Internetin e Automjeteve (IoV) dhe integrimin e tij me IoT, AI, dhe Cloud/Fog Computing në arkitektura me shumë shtresa për Smart Cities. Një kombinim unik ky që hedh hapat e parë në automatizimin e menaxhimit të transportit, përmirësimin e sigurisë, dhe analizën smart të të dhënave përmes deep learning. Mungesa e standardeve unifikuese për ndërveprueshmëri, çështjet e sigurisë dhe privatësisë, si dhe vështirësitë në menaxhimin e volumeve të mëdha të të dhënave që gjenerohen në kohë reale mbeten kufizimet kryesore.

Studimi [2] propozon një arkitekturë të avancuar për Sistemet Inteligjente të Transportit, e bazuar në integrimin e 5G, V2X, Multi-access Edge Computing (MEC) dhe Inteligjencën Artificiale. Autorët bazohen në rastet e përdorimit kritik si: automjetet e emergjencës, komunikimet V2V, V2I dhe V2P, duke përdorur teknika si MIMO, beamforming, dhe AI-assisted decision-making për të arritur vonesa ultra të ulëta dhe siguri në transmetimin e të dhënave. Kostot e larta të infrastrukturës 5G/MEC, kompleksitetin e standardeve 3GPP, dhe vështirësitë e ndërveprimit midis pajisjeve heterogjene janë kufizime kryesore në këtë arkitekturë.

Artikulli [85] ofron një rishikim të teknologjive në zhvillim që integrojnë VANET me 5G, por edhe me Blockchain, dhe SDN/NFV, duke synuar siguri të decentralizuar dhe menaxhim fleksibël të rrjetit. Ndërsa SDN (Software Defined Networking) dhe NFV (Network Function

Virtualization) shërbejnë për menaxhimin e trafikut dhe optimizim të burimeve, Blockchain shërben për autentikim dhe integritet të të dhënave. Integrimi i blockchain, ndonëse rrit sigurinë, shton vonesë dhe ngarkesë të konsiderueshme në rrjetet VANET.

Punimi [86] analizon rolin transformues të 5G në rrjetet VANET për Smart Cities. Argumentohet se 5G ofron komunikim të besueshëm dhe me vonesë të ulët, të domosdoshëm për siguri rrugore dhe menaxhim të fluksit të trafikut. Megjithatë, studimi pranon kufizime të rëndësishme që lidhen me mbulimin jo uniform të rrjeteve 5G, kostot e larta të infrastrukturës, dhe pasigurinë mbi ndërveprueshmërinë me teknologjitë ekzistuese si DSRC dhe LTE.

### **3.4.2 Qasjet e bazuara në integrimin VANET-IoT**

Në studimin [87], autorët propozojnë një metodë të re për menaxhimin e trafikut urban duke kombinuar sensorët IoT dhe rrjetet 5G. Kjo metodë lejon mbledhjen dhe analizimin e të dhënave në kohë reale nga burime të ndryshme, si kamera, sinjalizime rrugore dhe pajisje të tjera të ndërlidhura. Kjo sjell një menaxhim më të mirë të trafikut dhe reduktohen vonesat. Por, kufizim mbetet siguria, besueshmëria dhe kostot e larta të vendosjes së infrastrukturës 5G.

Artikulli [40] përqendrohet në zgjidhjen e problemit të energjisë për pajisjet IoT në smart cities. Autorët propozojnë një sistem të kombinuar që përdor RF power transfer dhe perovskite photovoltaic cells, me efikasitet deri në 90%, duke reduktuar nevojën për bateri tradicionale. Megjithatë ky model sjell qëndrueshmëri ka një kompleksitet të lartë teknik dhe performancë të ndryshueshme në kushte të ndryshme mjedisi, çka kufizon zbatimin praktik.

Gjithashtu në punimin [52], paraqitet një strukturë sigurie për rrjetet 5G dhe 6G, që përdor machine learning dhe algoritmin (Wireless Intrusion Detection Algorithm - WIDA) për zbulimin dhe parandalimin e sulmeve kibernetike për të identifikuar anomalitë në rrjete të dendura me pajisje IoT. Kjo paraqet një zhvillim inovativ për sigurinë autonome të rrjeteve, por algoritmi mbetet në fazë prototipi dhe nuk është testuar në mjedise reale, duke kufizuar vlerësimin e efikasitetit praktik.

Në studimin [88] analizohet tendenca teknologjike për menaxhimin inteligjent të energjisë në Smart Cities, duke integruar 5G, AI, blockchain, IoT dhe digital twins. Qasja e propozuar fokusohet në automatizimin e rrjeteve të energjisë përmes IoT dhe në përdorimin e blockchain për siguri dhe gjurmueshmëri të transaksioneve energjetike. Megjithatë, lind nevoja për

investime të mëdha infrastrukturore dhe përshtatje e politikave publike, të cilat përbëjnë sfida për adoptim në nivel kombëtar apo ndërkombëtar.

Në artikullin [89], në integrimin midis IoT dhe 5G zbulohen anomalitë dhe sulmet kibernetike, duke përdorur modele të avancuara të inteligjencës artificiale. Autorët integrojnë gjithashtu Edge AI, duke lejuar përpunimin lokal të të dhënave me 97% saktësi në skenarë realë. Paraqiten kufizime në heterogjenitetin e pajisjeve, shkallëzueshmërinë dhe privatësinë për aplikim të gjerë në mjedise urbane të ndërlikuara.

Në punimin [90], autorët analizojnë mënyrën sesi IoT mund të integrohet me rrjetet 5G përmes edge computing dhe network slicing, duke mundësuar ndarje të personalizuar të burimeve për aplikime kritike. Ky integrim synon të realizojë ulje të vonesave dhe rritje të besueshmërisë kryesisht në automjete autonome. Megjithatë, paraqiten sfida si menaxhimi i energjisë, siguria e rrjetit dhe ndërveprueshmëria midis pajisjeve të ndryshme.

Artikulli [91] trajton një arkitekturë hibride për integrimin e 5G me LPWAN (Low Power Wide Area Network) për Smart Cities dhe zonat e largëta (remote areas). Përdoren teknologjitë e SDN (Software Defined Networking), NFV (Network Function Virtualization) dhe satelitëve LEO për të ofruar lidhje universale. Kështu ofrohet një mbulim global dhe efikasitet energjetik por, për implementim kërkohet një infrastrukturë e kushtueshme gjithashtu interferencat elektromagnetike janë të pranishme.

Në këtë studim [92] analizohet roli i teknologjive 5G dhe IoT në adresimin e sfidave mjedisore të Smart Cities në Singapor. Autorët vlerësojnë ndikimin e këtyre teknologjive në menaxhimin e energjisë, ujit, mbetjeve dhe rreziqeve klimatike, duke theksuar rëndësinë e infrastrukturës inteligjente për qëndrueshmëri afatgjatë. Megjithatë, mungojnë kostot e zbatimit dhe shkallëzueshmëria në vende me burime të kufizuara.

Artikulli [93] shqyrton performancën e integritit të 5G me rrjetet satelitore për aplikime IoT në smart cities. Përdoret modeli Two-ray propagation për të vlerësuar efektet e lartësisë dhe frekuencës së satelitëve në fuqinë e sinjalit dhe humbjen e lidhjes. Nga përfundimet është parë se në monitorimet në distancë dhe përgjigjet emergjente, satelitët me lartësi të ulët dhe frekuenca të ulëta përmirësojnë ndjeshëm fuqinë e sinjalit dhe reduktojnë humbjet e lidhjes. Në frekuenca të larta, megjithatë, modeli përballet me humbje sinjali dhe kapacitet të reduktuar.

Në studimin [94] propozohet një arkitekturë e decentralizuar për sistemet IoT në Smart Cities, e ndërtuar mbi konceptin Platform as a Service (PaaS) dhe të integruar me hybrid cloud dhe

Multi-access Edge Computing (MEC). Arrihet përpunim të dhënash në kohë reale, menaxhim i burimeve dhe mbështetje për aplikime kritike. Megjithatë, paraqiten vështirësi në menaxhimin dinamik të burimeve, lëvizshmërinë e pajisjeve dhe konsumin e energjisë.

### **3.4.3 Qasjet e bazuara në VANET/VDTN, IoT dhe 5G në Smart Cities**

Në punimin [95], autorët propozojnë një sistem komunikimi fund-më-fund për VANET/IoT/5G dhe cloud. Autorët fokusohen në reduktimin e vonesës dhe rritjen e performancës përmes komunikimeve V2I dhe V2C të qëndrueshme dhe të shkallëzueshme. Fokus gjithashtu është harmonizimi i IoT për implementime me kosto të ulët dhe mirëmbajtje efikase, veçanërisht për monitorimin e trafikut në kohë reale. Për zbatim afatgjatë mbetet e kufizuar shkallëzueshmëria në rrjetet VANET dhe problemet me sulmet kibernetike për IoT.

Artikulli [96] përqendrohet në transformimin e rrjeteve tradicionale VANET në një formë më të avancuar të quajtur IoV duke integruar VANET, 5G dhe IoT. Autorët propozojnë një arkitekturë me pesë shtresa, përfshirë shtresën e perceptimit, të rrjetit, të inteligjencës artificiale, të aplikacioneve dhe të biznesit. Sigurohet shkallëzueshmëri e lartë, siguri e përmirësuar dhe efikasitet më i madh në komunikimin ndër-automjetesh. Por, mungon testimi në mjedise reale, ndërsa modeli nuk ofron mbështetje të plotë për dinamikën e paparashikueshme urbane.

Artikulli [97] gjithashtu bën integrimin e teknologjive 5G, IoT dhe VANET dhe prezantohet një protokoll i ri autentifikimi, i quajtur (Authentication-based Medium Access Control - A-MAC), i cili synon të rrisë sigurinë, privatësinë dhe efikasitetin e transmetimit të të dhënave në këto rrjete. Propozohet gjithashtu një arkitekturë me pesë shtresa për IoV. E pazgjidhur mbetet mungesa e testimeve në mjedise reale urbane, varësia nga RSU-të me kapacitete të larta përpunimi (CPU) gjithashtu përdorimi i algoritmit MD5, i cili nuk konsiderohet mjaftueshëm i sigurt sipas standardeve moderne.

Studimi [6] përqendrohet në sjelljen e rrisë së integritetit të VDTN me IoT dhe cloud computing për krijimin e një infrastrukture komunikimi inteligjente në Smart Cities. Autorët propozojnë një arkitekturë të bazuar në cloud-VANET, ku automjetet, njësitë rrugore (RSU) dhe sensorët IoT ndërveprojnë me platforma ndërmjetëse për menaxhim të të dhënave në kohë reale. Sigurohet lidhje e qëndrueshme në kushte të vështira të rrjetit por paraqiten vonesa në situata

kritike dhe shkallëzim i kufizuar. Gjithashtu sfidë është dhe harmonizimi i protokolleve IoT-VANET.

Në punimin [98] analizohet roli i rrjeteve 5G në përmirësimin e sistemeve inteligjente të transportit, në bashkëveprim me IoT. Shqyrtohen sfidat dhe përfitimet e integritit të 5G, ITS dhe IoT në Smart Cities. Kjo qasje kontribuon në realizimin e komunikimit në kohë reale dhe në monitorimin inteligjent të trafikut por nuk ofrohen analiza në menaxhimin e energjisë, kostot e infrastrukturës, apo balancimin e ngarkesës, të cilat janë elemente thelbësore për implementimin praktik.

Nga analiza e punimeve të mësipërme, mund të konstatohet se shumica e studimeve aktuale fokusohen në integrimin e pjesshëm të teknologjive, duke u ndalur kryesisht tek VANET, IoT dhe 5G, ndërsa VDTN mbetet relativisht i paeksploruar. Secili studim ofron qasje të vlefshme për menaxhimin inteligjent të trafikut, dhe rritjen e efikasitetit të rrjeteve në Smart Cities por mungesa e një platformë të unifikuar që kombinon tolerancën ndaj vonesave të VDTN, vonesën ultra të ulët të 5G, numrin e madh të sensorëve të IoT dhe mobilitetin e VANET, tregon për një boshllëk kërkimor.

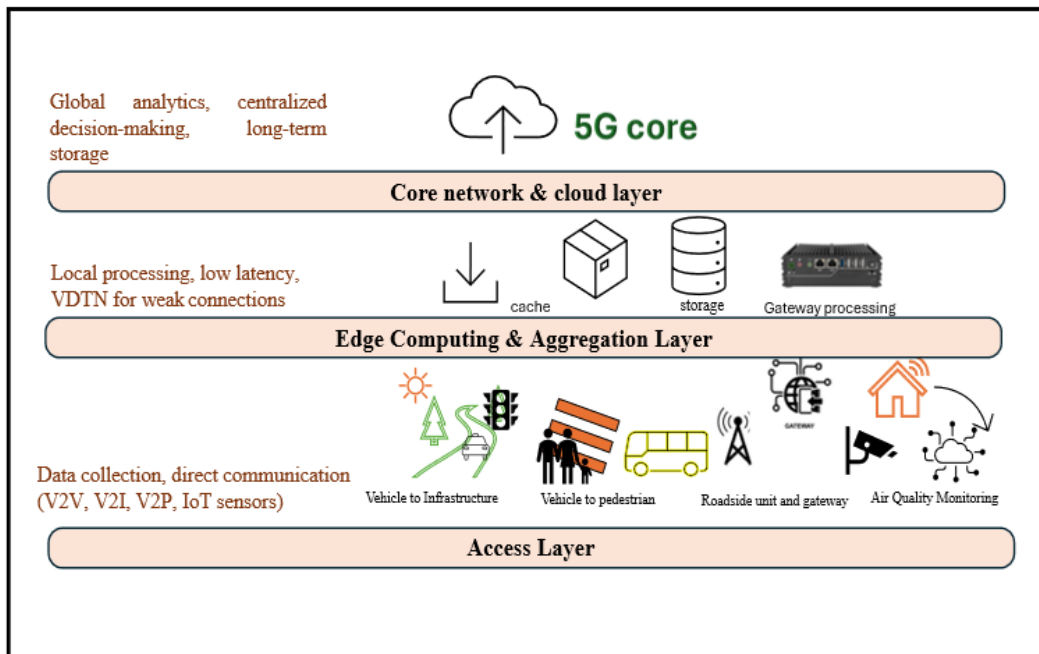
### **3.5 Arkitektura logjike për integrimin e VANET, VDTN, IoT dhe 5G në Smart Cities**

Rishikimi sistematik i literaturës mbi integrimin e VANET, VDTN, IoT dhe 5G tregon se ndërthurja e këtyre teknologjive përbën një drejtim të domosdoshëm për ndërtimin e Smart Cities, ku komunikimi në kohë reale, automatizimi i shërbimeve dhe menaxhimi efikas i burimeve janë thelbësorë. Nga analiza e kryer rezultojnë se shumica e studimeve ekzistuese fokusohen në zgjidhje të pjesshme p.sh. integrimin e dy ose tre teknologjive, ndërsa konvergjencia e plotë midis VANET dhe VDTN për dërgimin e të dhënave me IoT dhe 5G mbetet një zonë kërkimore ende e pazhvilluar. Shumë studime kanë propozuar arkitektura të ndryshme me disa shtresa për të mundësuar integrimin e teknologjive të komunikimit dhe përpunimit në Smart Cities.

Për të mbushur këtë boshllëk, ne propozojmë një arkitekturë me tre shtresa, e cila realizon integrimin logjik të VANET, VDTN, IoT dhe 5G për mjediset e Smart Cities.

Kjo arkitekturë synon të sigurojë komunikim fund-më-fund, vonesë të ulët, shkallëzueshmëri të lartë dhe tolerancë ndaj shkëputjeve, duke ruajtur ndërveprueshmërinë mes komponentëve të

ndryshëm. Shtresat kryesore janë: Shtresa e Aksesit, Shtresa Edge/Fog dhe Shtresa Qendrore (Cloud/Core) funksionet e të cilave shpjgohen më poshtë.



*Figura 3.5 Arkitektura e propozuar me shtresa për integrimin logjik të VANET, VDTN, IoT dhe 5G për Smart Cities.*

Në Figurën. 3.5 paraqitet arkitektura e propozuar me shtresa për integrimin logjik të VANET, VDTN, IoT dhe 5G për Smart Cities. Objektivi kryesor i kësaj qasjeje arkitekturore është krijimi i një platforme inteligjente dhe të përshtatshme për qytetet moderne, që të mundësojë:

- Mbledhje të vazhdueshme të të dhënave nga pajisjet dhe sensorët IoT.
- Përdorim të VDTN për ruajtjen e përkohshme dhe shpërndarjen e të dhënave në kushte të lidhjeve të pasigurta, gjithashtu për ruajtjen e të dhënave jo emergjente dhe për të ulur ngarkesën e 5G.
- Përdorim të VANET dhe 5G për komunikim në kohë reale dhe vendimmarrje të menjëhershme.

### **Shtresa e Aksesit**

Në shtresën e aksesit, realizohet komunikimi i drejtpërdrejtë midis automjeteve, këmbësorëve dhe infrastrukturës rrugore, përmes VANET dhe pajisjeve IoT. Kjo shtresë mundëson

komunikime V2V, V2I dhe V2P, duke përdorur njësitë rrugore (RSU) dhe sensorë të integruar në automjete dhe mjedis. Gjithashtu, mbledh të dhëna nga sensorët e IoT, si për shembull ato që matin cilësinë e ajrit, trafikun, temperaturën dhe zhurmën. Megjithatë, performanca e kësaj shtrese varet nga dendësia e automjeteve dhe disponueshmëria e infrastrukturës fizike.

### **Shtresa Edge/Fog**

Shtresa ndërmjetëse (Edge/Fog) shërben për përpunimin lokal dhe agregimin e të dhënave. Në këtë shtresë, 5G dhe IoT punojnë së bashku për të garantuar përpunim të shpejtë dhe komunikim me vonesë minimale, ndërsa VDTN përdoret për ruajtjen e përkohshme dhe ridërgimin e mesazheve në rastet e lidhjeve të paqëndrueshme ose mungesës së rrjetit. Ky kombinim siguron vazhdimësi komunikimi në mjedise urbane shumë dinamike.

### **Shtresa Qendrore (Core/Cloud)**

Në shtresën qendrore, përpunohen dhe analizohen të dhëna në shkallë të gjerë, realizohet vendimmarrja e centralizuar dhe ruajtja afatgjatë e informacionit. Kjo arrihet falë infrastrukturës së cloud-it dhe rrjeteve 5G që ofrojnë kapacitet të lartë përpunimi dhe shkallëzueshmëri. Këtu ndodhin analizat përmes inteligjencës artificiale, modelimi prediktiv dhe optimizimi i trafikut dhe shërbimeve urbane, duke mbështetur menaxhimin inteligjent të qytetit [98], [99].

Studimi i literaturës ekzistuese krijon bazën për drejtimin e punës eksperimentale në vijim të këtij disertacioni. Gjithashtu arkitektura konceptuale e integruar që kombinon karakteristikat e shpërndarjes së VDTN me shpejtësinë dhe gjerësinë e brezit të 5G, si dhe me sensibilitetin dhe përpunimin e të dhënave të IoT mundësojnë bazën për simulimin e një skenari Smart City ku automjetet, sensorët dhe qendrat e kontrollit komunikojnë në mënyrë bashkërenduar.

Objektivi praktik i kësaj faze është modelimi dhe testimi i performancës së një rrjeti hibrid VANET-VDTN të integruar me IoT dhe 5G. Për këtë qëllim, do të përdoren mjete simulimi si The ONE për vlerësimin e komunikimit ndër-automjetesh dhe transmetimit të të dhënave.

## KREU IV

### **PROPOZIMI DHE VLERËSIMI I DY TEKNIKAVE PËR OPTIMIZIMIN E KOMUNIKIMIT DHE MENAXHIMIN E ENERGJISË NË VDTN PËR SMART CITIES**

#### **4.1. Hyrje**

Bazuar në rezultatet kërkimore të kapitullit të tretë, në këtë kapitull vazhdohet studimi për tu thelluar më shumë në arkitekturën e qëndrueshme dhe inteligjente për integrimin midis VANET, VDTN, IoT dhe 5G në Smart Cities. Në këtë kuadër, kemi propozuar dhe implementuar dy qasje që adresojnë sfidat kryesore të rrjeteve VDTN në skenare Smart City:

- Optimizimi i protokollit PRoPHET, duke përmirësuar konsumin e energjisë dhe menaxhimin e buffer-it [100].
- Propozimi i një teknike të integruar të vlerës së energjisë dhe dërgimit me prioritet në rrjetat tolerante ndaj vonesave, e cila sjell si rezultat kursimin e energjisë dhe probabilitet të lartë të dorëzimit të të dhënave kur aplikohet në protokollet e rrugëzimit Epidemic dhe Spray and Wait [101].

Duke vepruar në nivel mikro të rrjetit, modifikimi i PRoPHET përshtat: sjelljen e çdo nryje bazuar në energjinë e mbetur dhe statusin e buffer-it dhe në nivel makro me strategjinë e integruar të pragut të energjisë dhe dërgimit me përparësi të të dhënave për të menaxhuar rrjedhën e trafikut në nivel rrjeti. Përmes këtyre qasjeve, krijohet një arkitekturë e balancuar, ku: PRoPHET i modifikuar siguron efikasitet në transmetim dhe shmang mbingarkesën lokale të nyjeve me pak energji. Ndërsa, qasja e dytë garanton përdorimin inteligjent të burimeve energjetike dhe prioritizimin e informacionit kritik, duke përmirësuar probabilitetin e dorëzimit të mesazheve.

Këto qasje forcojnë konceptin e një rrjeti që përshtatet në mënyrë automatike në Smart Cities, ku protokollet e komunikimit përshtaten në mënyrë dinamike sipas nivelit të energjisë dhe rëndësisë së informacionit.

Të dyja qasjet janë testuar në mjedise simulimi të ndërtuara mbi topologji urbane, duke shërbyer si bazë për modelin e integruar të arkitekturës VDTN-IoT-5G të zhvilluar në kapitullin vijues.

## 4.2 Punime të ngjashme

Rrjetet tolerante ndaj vonesave [104] janë konceptuar për skenarë ku mungon lidhja e qëndrueshme fund-me-fund midis nyjeve burim dhe atyre të destinacionit, dhe përdorin mekanizmin store-carry-forward për shpërndarjen oportuniste të mesazheve [102] [103] [105] [106]. Fillimisht të aplikuara në mjedise ekstreme si zona të largëta [105], rrjete ushtarake dhe mjedise nënujore, këto rrjete janë bërë thelbësore edhe për aplikime urbane ku pajisjet e mençura komunikojnë në mënyrë autonome, pa ndërhyrjen e infrastrukturës tradicionale. Në qytetet moderne, të karakterizuara nga dendësi e lartë sensorësh dhe pajisjesh IoT, [107], [108] rrjetat tolerante ndaj vonesave ofrojnë një mënyrë efektive për menaxhimin e trafikut të të dhënave, duke kompensuar kufizimet e rrjeteve ekzistuese në përballimin e ngarkesës pa investime të reja infrastrukturore.

Në kontekstin e Smart Cities, sensorët dhe automjetet [109], [110] përbëjnë nyje aktive të këtij rrjeti të shpërndarë, ku lëvizshmëria e tyre mundëson shpërndarjen dinamike të informacionit [111], [112]. Megjithatë, kufizimet e energjisë dhe hapësirës së buffer-it mbeten sfida qendrore që ndikojnë drejtpërdrejt në qëndrueshmërinë e rrjetit. Kjo ka çuar në zhvillimin e protokolleve specifike si PROPHET [113], i cili merr vendime bazuar në probabilitetet e takimeve midis nyjeve. Por, ky protokoll nuk merr në konsideratë kufizimet energjetike [114]. Në këtë drejtim, një sërë punimesh [115], [116], [117], [118] dhe [119] kanë kontribuar në zhvillimin e protokolleve energji-eficente dhe teknikave të menaxhimit të buffer-it, duke optimizuar shpërndarjen e të dhënave dhe zgjatur jetëgjatësinë e rrjetit.

Gjithashtu, studimet e fundit [120],[121],[122],[123] kanë theksuar rëndësinë e prioritizimit të mesazheve për menaxhimin e burimeve dhe shmangien e mbingarkesës në rrjetet DTN. Qasjet që përdorin Time-to-Live (TTL) dinamik, menaxhimin e buffer-it sipas përparësisë dhe integrimin e pragut të energjisë kanë treguar përmirësime të dukshme në probabilitetin e dorëzimit, por shpesh kufizohen në skenarë specifikë (p.sh. fatkeqësi natyrore ose modele të fiksuara mobiliteti).

Për të adresuar këto boshllëqe, në këtë punim janë zhvilluar dy teknika: (i) një version i modifikuar i PROPHET, i cili integron vetëdijen energjetike dhe mekanizmat adaptivë të buffer-it për optimizimin e përdorimit të burimeve dhe (ii) strategjia Integrated Energy Threshold and Priority Forwarding, e cila kombinon pragun energjetik me prioritizimin e mesazheve për të

maksimizuar probabilitetin e dorëzimit të të dhënave dhe për të ruajtur qëndrueshmërinë e rrjetit në mjedise me burime të kufizuara. Këto qasje përfaqësojnë hapa të rëndësishëm drejt ndërtimit të një arkitekture të vetë-optimizueshme DTN për qytetet inteligjente të bazuara në IoT dhe 5G. Në tabelën 4.1 dhe tabelën 4.2 paraqitet literatura e rishikuar për secilën qasje.

*Tabela 4.1 Rishikimi i literaturës për optimizimin e protokollit PRoPHET*

<b>Ref.</b>	<b>Metodologjia</b>	<b>Kontributet</b>	<b>Kufizimet</b>
[124]	Studime themelore mbi routing multi-hop	Vendos bazat për vlerësimin e performancës së rrugëzimit në rrjete pa tela	Nuk trajton aspektin energjetik
[125]	Energy & Buffer-Aware Forwarding	Merr parasysh energjinë dhe buffer-in gjatë forwarding; ul “dead nodes”	Testim vetëm në mjedise simulimi
[126]	Genetic Algorithm Routing	Zgjedh nyjen më të mirë përmes GA; rrit “residual energy”	Kompleksitet i lartë llogaritës
[127]	Energy-Aware HBPR	Heq paketat pas dërgimit për të kursyer energji; përdor energjinë për përzgjedhje nyjesh	Mungon testim në skenarë realë
[128]	Energy-Driven Protocols	Shfrytëzon energjinë për efikasitet në sensing dhe transmetim	Nuk përcaktohet politika e buffer-it
[129]	Energy-Aware Forwarding	Lidh forwarding me nivelin e baterisë dhe probabilitetin e dorëzimit	Kufizuar në krahasime me PRoPHET
[130]	Energy-Aware Epidemic	Përdor energjinë dhe hapësirën e buffer-it për forwarding	Rrit kompleksitetin e menaxhimit të buffer-it
[131]	Fuzzy-Based Routing	Kombinon distancën dhe energjinë për rrugëzim optimal	Varet nga parametrizimi i saktë fuzzy
[132]	Game-Theoretic Decision Routing	Rrit efikasitetin energjetik në zona urbane; ul skanimin e nyjeve	Nevojitet sinkronizim në nyje

			heterogjene
[133]	Energy-Efficient Epidemic/MaxProp	Redukton konsumin përmes pragut të energjisë dhe ACK një-hopësh	Nuk ofron balancë mes energjisë dhe vonesës
[134]	Energy Evaluation of Routing Models	Analizon konsum energjie për 3 modele mobiliteti	Nuk propozon mekanizëm optimizimi
[135]	Buffer Management Policy	Përdor njohuri globale për menaxhim buffer-i; përmirëson vonesën	Kërkon informacion të plotë të rrjetit
[136]	Routing në Smart Cities	Analizon Direct Delivery, First Contact dhe Epidemic	Vetëm analizë teorike e performancës
[137]	Enhanced Message Replication (EMR)	Rregullon replikimin sipas energjisë dhe buffer-it; përmirëson dorëzimin	Rrit overhead për mesazhe të mëdha
[138]	Spontaneous Size Drop (SS-Drop)	Fshin mesazhe sipas madhësisë për të optimizuar buffer-in	Kufizuar në skenarë me ngarkesë të moderuar
[139]	MaxDelivery	Optimizon forwarding dhe pastrimin e buffer-it për rrjete emergjente	Nuk teston efekte në densitet të lartë
[140]	Weighted Priority Queue	Peshon prioritetin e mesazheve sipas madhësisë, TTL dhe hop-eve; efektiv në ITS	Kompleksitet në llogaritje prioriteti
[141]	EBR (Energy & Buffer-Aware Routing)	Përdor Markov chain për zgjedhje nyjesh; balancon energjinë dhe buffer-in	Nevojitet sinkronizim i vazhdueshëm
[142]	GEER (Geometric Energy-Efficient Routing)	Kombinon geographic & energy awareness; ndarje dinamike të zonave	Vështirësi në përshtatje me topologji dinamike

Tabela 4.2 Rishikimi i literaturës për optimizimin e protokolleve Epidemic dhe Spray and Wait

<b>Ref.</b>	<b>Metodologjia</b>	<b>Kontributet</b>	<b>Kufizimet</b>
[120]	Message Priority & Dynamic TTL	Përdor prioritizimin e mesazheve dhe ndryshimin dinamik të TTL për të reduktuar ngarkesën në skenarë emergjentë; kombinon Spray & Wait me Epidemic/PRoPHET për mesazhe me përparësi të lartë	Aplikohet vetëm në skenarë fatkeqësish; kërkon rregullim më të mirë të TTL për rritje të probabilitetit të dorëzimit
[121]	Priority-Based Buffer Management	Menaxhon buffer-in bazuar në prioritetin e mesazhit; mesazhet me përparësi të lartë vendosen në fillim të radhës; përmirëson performancën krahasuar me transmetimin rastësor	Kufizuar në një model mobiliteti; nuk trajton aspektin energjetik
[122]	Hybrid Priority-Aware DTN Routing for IoT	Kombinon Epidemic (për mesazhe kritike), Spray & Wait (për mesatare) dhe Direct Delivery (për të ulëta); merr parasysh energjinë vetëm për mesazhet mesatare dhe distancën nga stacioni bazë	Vlerësimi kryhet në një skenar të vetëm me shpejtësi fikse nyjesh; mungon përgjithësimi i modelit
[123]	Energy-Based Routing Strategies	Propozon strategji rrugëzimi që shfrytëzojnë energjinë e disponueshme për transmetim dhe sensing më efikas; përmirëson përdorimin e “residual energy”	Testuar vetëm në një model mobiliteti; nuk integron prioritizimin e mesazheve

### **4.3 Teknika I: Optimizimi i Protokollit PROPHET për Reduktimin e Konsumit të Energjisë**

Versioni origjinal i protokollit PROPHET nuk merr në konsideratë gjendjen energjitike të nyjeve dhe as kapacitetin e kufizuar të buffer-it edhe pse përdor historikun e takimeve me vetitë tranzitive për të përafëruar probabilitetin që një nyje të shpërndajë me sukses një mesazh në destinacion. Kjo mund të sjellë probleme si reduktimi i qëndrueshmërisë së rrjetit për shkak se nyjet mund të dështojnë nga mungesa e energjisë, rritje të humbjes së mesazheve ose konsumim i panevojshëm i gjerësisë së brezit. Këto parametra janë shumë të rëndësishme në efektivitetin e rrjeteve në Smart Cities, ndaj, për të adresuar këto kufizime, në këtë punim ne kemi propozuar dhe implementuar një version të përmirësuar të PROPHET, i cili shton një mekanizëm për përcjellje bazuar në nivelin e energjisë dhe menaxhimin e buffer-it bazuar në ACK. Ky modifikim synon të shmangë transmetimet e panevojshme, të përmirësojë shkallën e dorëzimit dhe të ruajë jetëgjatësinë operacionale të nyjeve.

#### **Modifikimi i PROPHET për përcjelljen e mesazheve bazuar në energji**

Probabiliteti i dërgimit,  $P_{adjusted}$ , llogaritet duke shumëzuar parashikueshmërinë origjinale të dërgimit mes dy nyjeve me raportin e energjisë residual me një vlerë të paracaktuar të energjisë limit siç paraqitet në Ekuacionin 1:

$$P_{adjusted} = P_{original} \times (E_{limit} / E_{residual}) \quad \text{Eq. (1)}$$

$P_{original}$ : Parashikueshmëria origjinale e dërgimit midis dy nyjeve, e llogaritur nga protokollit PROPHET bazuar në informacionin historik të kontakteve.

$E_{residual}$ : Energjia e mbetur aktuale e nyjes përcjellëse.

$E_{limit}$ : Një prag i paracaktuar energjie që përdoret për të normalizuar raportin e energjisë.

$P_{adjusted}$ : Probabiliteti i modifikuar i përcjelljes që përfshin si parashikueshmërinë e dërgimit ashtu edhe energjinë e mbetur të nyjes.

Me modifikimin e protokollit PROPHET nyjet me më shumë energji kanë prioritet për përcjelljen e mesazheve krahasuar me nyjet me më pak energji. Për nyjet vendoset një energji fillestare që përcakton sasinë totale të energjisë që ka një nyje në fillim të simulimit. Nyjet që kanë një nivel energjie [0-1500 J] konsiderohen në rrezik për shterim të baterisë dhe një nyje me energji në këtë diapazon redukton përcjelljen e mesazheve. Kjo sjell që te kemi mundësi më të

mira që mesazhet të shpërndahen me sukses në të gjithë rrjetin sepse për nyjet me energji të ulët, ulet mundësia për dërgimin e mesazheve dhe energjia që ato mbartin ruhet.

Algoritmi 4.1 paraqet procesin për përcjelljen e mesazheve bazuar në energjinë e mbetur të nyjes. Kur një mesazh pranohet (Rreshti 3), nyja kontrollon nëse niveli i saj aktual i energjisë plotëson prapun minimal të kërkuar për të marrë pjesë në përcjellje (Rreshti 5). Nëse kushti plotësohet, nyja llogarit një probabilitet përcjelljeje bazuar në energjinë e mbetur (Rreshti 8). Ky probabilitet më pas vlerësohet (Rreshti 11) për të vendosur nëse mesazhi duhet të përcillet (Rreshti 14) apo të hidhet poshtë. Nëse energjia e nyjes është nën prapun e kërkuar, ajo ose e hedh poshtë mesazhin ose kalon në gjendje kursimi të energjisë. Kjo siguron që nyjet me kufizim energjie të reduktojnë barrën e tyre të komunikimit, duke zgjatur kështu kohën e funksionimit të tyre.

---

*Algoritmi 4.1: Përcjellja e mesazheve bazuar në energjinë e mbetur të nyjes*

---

```
1 START
2 // Step 1: Node receives a message
3 RECEIVE message
4 // Step 2: Check energy level
5 IF (energy_level >= minimum_energy_required) THEN
6 // Step 3: Calculate forwarding probability
7 forwarding_probability =
8 calculate_forwarding_probability(remaining_energy)
9 // Step 4: Check if forwarding probability is high
10 enough
11 IF (forwarding_probability >=
12 threshold_probability) THEN
13 // Step 5: Forward the message
14 FORWARD message to next_node
15 ENDIF
16 ENDIF
17 END
```

## Menaxhimi i buffer-it i bazuar në ACK

Për të menaxhuar hapësirën e buffer-it të nyjeve kur ato nuk janë nyja destinacion për marrjen e paketës dhe shmangien e qëndrimit të mesazheve në këto nyje, ne prezantojmë një sistem menaxhimi buffer-i të bazuar në ACK. Mesazhi ACK krijohet kur mesazhi arrin në destinacion dhe ju shpërndahet në mënyrë epidemike të gjitha nyjeve që takohen me njëra-tjetrën. Nyjet që marrin ACK kontrollojnë në buffer-in e tyre nëse kanë kopje të mesazhit të dorëzuar dhe nëse e gjejnë e fshijnë atë duke liruar hapësirë në buferin e tyre.

Algoritmi 4.2 përshkruan hapat për menaxhimin e konfirmimeve dhe optimizimin e përdorimit të buffer-it pas dorëzimit me sukses të një mesazhi. Sapo një mesazh arrin në destinacion (Rreshti 3), gjenerohet një konfirmim (ACK) (Rreshti 5) dhe përhapet në rrjet (Rreshti 7). Pas marrjes së ACK (Rreshti 9), nyja fshin mesazhin përkatës nga buffer-i i saj (Rreshti 11), duke liruar kështu memorien për mesazhet e ardhshme. Ky mekanizëm siguron përdorim efikas të buffer-it dhe parandalon ruajtjen e panevojshme të të dhënave tashmë të dorëzuara.

### *Algoritmi 4.2: Menaxhimi i buffer-it bazuar në ACK*

```
1 START
2 // Step 6: Message delivered to destination
3 MESSAGE_DELIVERED()
4 // Step 7: Generate ACK
5 ACK = GENERATE_ACK(message)
6 // Step 8: Propagate ACK
7 PROPAGATE_ACK(ACK)
8 // Step 9: Check if ACK is received
9 IF (ACK_RECEIVED()) THEN
10 // Step 10: Remove delivered message from buffer
11 REMOVE_FROM_BUFFER(message)
12 ENDIF
13 END
```

### 4.3.1 Metodologjia, skenaret dhe rezultatet e simulimit për Teknikën I

Për realizimin e simulimeve për teknikën e propozuar integrated energy threshold dhe priority forwarding, simulimet janë kryer me simulatorin e rrjetit The ONE v1.6.0 [143].

Simulimet janë realizuar duke përdorur Working Day Movement Model (WDMM) [144] për të simuluar lëvizjet reale të automjeteve në një zonë urbane.

WDMM ka një lidhje të ngushtë me aplikacionet e Smart Cities sepse modelon lëvizshmërinë reale të njerëzve dhe automjeteve brenda një mjedisi urban. Ky model simulon aktivitetet e përditshme të njerëzve, si p.sh. vajtja në punë ose përdorimi i transportit publik, të cilat janë elemente thelbësore të jetës në qytet.

Ky model mundëson simulimin e mënyrës se si automjetet dhe këmbësorët ndërveprojnë në një Smart City, veçanërisht kur ka lidhje të ndërprerë, në kontekstin e rrjeteve tolerante ndaj vonesave. Kjo është e dobishme për të vlerësuar se si të dhëna për trafikun ose informacioni i monitorimit të mjedisit shpërndahen në mënyrë efektive brenda një qyteti përmes protokolleve inteligjente të rrugëzimit. Prandaj, WDMM është një mjet shumë i vlefshëm për të testuar aplikacionet për qytetet inteligjente, duke i mundësuar ato të funksionojnë në mënyrë efikase në skenarë realë.

Parametrat e simulimit janë dhënë në Tabelën 4.3 dhe parametrat e lidhur me energjinë në Tabelën 4.4. Simulimet përfshijnë 1 grup makinash, 2 grupe këmbësorësh dhe 3 grupe tramvajesh, të cilat kanë shpejtësi më të larta, rreze transmetimi më të mëdha dhe hapësirë më të madhe buffer-i krahasuar me grupet e këmbësorëve dhe makinave. Këmbësorët dhe makinat lëviznin përgjatë rrugës më të shkurtër duke përdorur lëvizjen e bazuar në hartë, ndërsa tramvajet ndjekin rrugë të paracaktuara në hartë.

*Tabela 4.3 Parametrat e simulimit*

<b>Parametri</b>	<b>Vlerat</b>
Energjia fillestare	1000-7000J
Zona e simulimit	4500m×3400m
Nyje në rrjet	306~1806
Ndërfaqe	WiFi
Shpejtësia e të dhënave të ndërfaqes	2Mbps

Radio Range	100m
Shpejtësia pedestrians	0.5~1.5m/s
Shpejtësia e makinës	2.7~13.9m/s
Shpejtësia e tramvajëve	7~10m/s
Madhësia e buferit	50MB
Message Size Message	500KB~1MB
Generation Interval	25s ~ 35s
Message TTL	300 minutes (5hours)
Simulation Time	43200s (12 hours)

*Tabela 4.4 Parametrat e energjisë*

<b>Parametri</b>	<b>Vlerat për njësi</b>
Problematic Energy	0 ~ 1500 J
Initial Energy	1500 J
Scan Energy	0.7 J
Transmit Energy	0.1 J

Kushtet për kryerjen e simulimeve:

- Numri i nyjeve të konsideruara varion nga 306 deri në 1806
- Kemi aplikim ose jo të mekanizmit ACK tek protokoli original PROPHET dhe tek protokoli i bazuar në mekanizmin e energjisë.
- Energjia fillestare e nyjeve u zgjodh 1500 J (pasi u testuan nivele të ndryshme të energjisë së pragut)

Përdoren tre metrika për të vlerësuar protokollin e modifikuar PROPHET: raporti i dërgimit, overhead dhe koha mesatare në buffer.

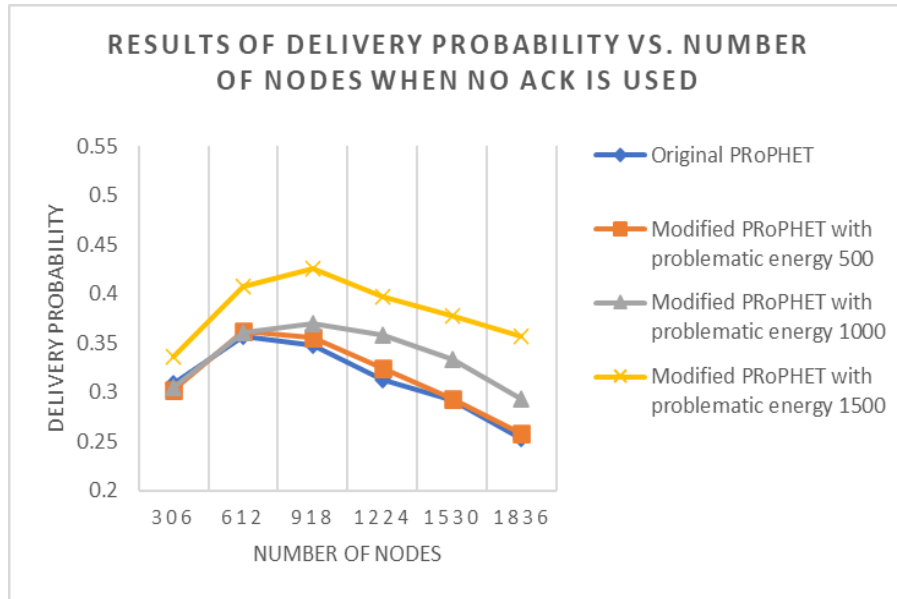


Figura 4.1 Probabiliteti i dërgimit vs. numri i nyjeve kur nuk përdoret ACK.

### Rezultatet për probabilitetin e dërgimit

Probabiliteti i dërgimit (raporti i dorëzimit) llogaritet si raporti i mesazheve të dërguara me sukses ndaj numrit total të mesazheve të gjeneruara. Ky është një tregues kryesor për vlerësimin e funksionalitetit bazë të protokollit. Meqë në protokollin e propozuar nyjet me më shumë energji kanë prioritet për përcjelljen e mesazheve, raporti i dorëzimit do të tregojë se sa mirë mekanizmi për energjinë balancon konsumin e energjisë me dërgimin e mesazheve.

Figura 4.1 paraqet rezultatet e probabilitetit të dërgimit si për PROPHET-in origjinal, ashtu edhe për atë të modifikuar me vlera të ndryshme të energjisë problematike, në numra të ndryshëm nyjesh, kur përdoret mekanizmi i përcjelljes së mesazheve të bazuar në pragun për energjinë, por mekanizmi ACK nuk aplikohet.

Siç shihet në Figurën 4.1 kemi një përmirësim të dukshëm kur përdorim mekanizmin e propozuar të vetëdijshëm për energjinë duke kontribuar në një probabilitet më të lartë të dorëzimit dhe ruajtjes së energjisë. Por, me rritjen e numrit të nyjeve kemi një ulje të probabilitetit të dërgimit sepse në rrjete të mëdha kemi rritje të mbingarkesës së buffer-ëve

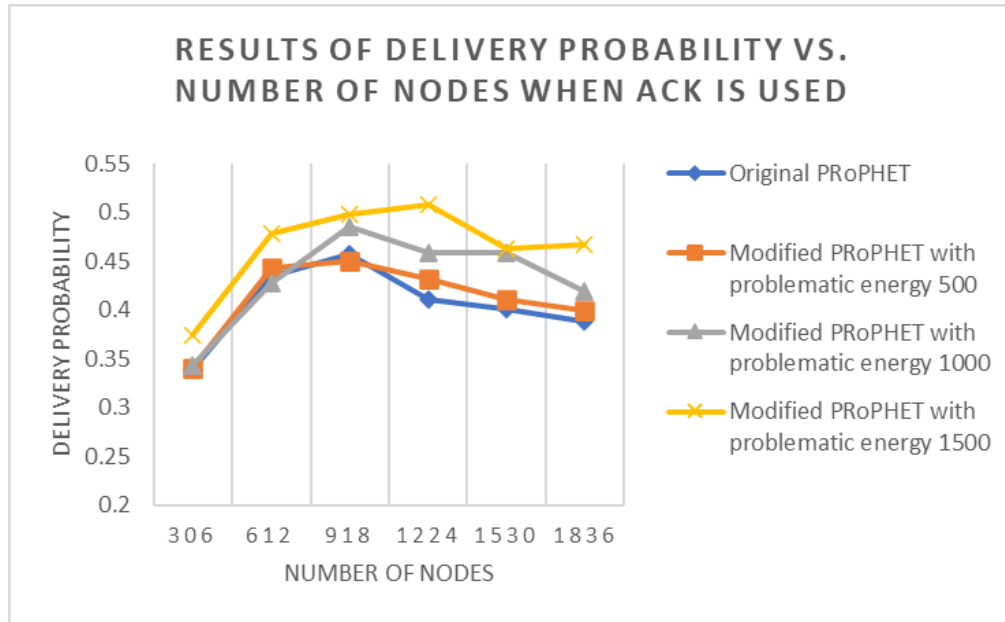


Figura 4.2 Probabiliteti i dërgimit vs. numri i nyjeve kur përdoret ACK.

dhe përplasjes së mesazheve, si pasojë e rritjes së normës së gjenerimit të mesazheve dhe takimeve më të shpeshta.

Në simulimet e mëtejshme ne kemi aplikuar edhe mekanizmin ACK të propozuar dhe shihet se ka përmirësim nga protokollin e modifikuar PRoPHET krahasuar me atë origjinal dhe gjithashtu arrihen rezultate të mira dhe për një numër më të madh të nyjeve. Kjo ndodh sepse tashmë në rrjet më të madh ka më shumë mundësi që nyjet të takohen me njëra tjetrën dhe të përcillet ACK për të ulur ngarkesën e bufferave të nyjeve jo destinacion. Rezultatet e simulimit paraqiten në Figurën 4.2. Ky rezultat është shumë i vlefshëm në aplikimet tona në një Smart City dhe integrimin VDTN, IoT dhe 5G sepse numri i nyjeve është shumë i lartë dhe vjen gjithnjë e në rritje.

### Rezultatet për Overhead-in

Overhead llogaritet si raporti i numrit total të transmetimeve ndaj numrit të mesazheve të dërguara me sukses. Ai tregon se sa mirë sistemi i menaxhimit të buffer-it po redukton ritransmetimet e panevojshme dhe po optimizon përdorimin e hapësirës së disponueshme të buffer-it, gjë që është veçanërisht e rëndësishme në DTN me burime të kufizuara. Një overhead më i ulët nënkupton më pak transmetime të tepërta dhe përdorim më efikas të brezit të rrjetit dhe energjisë.

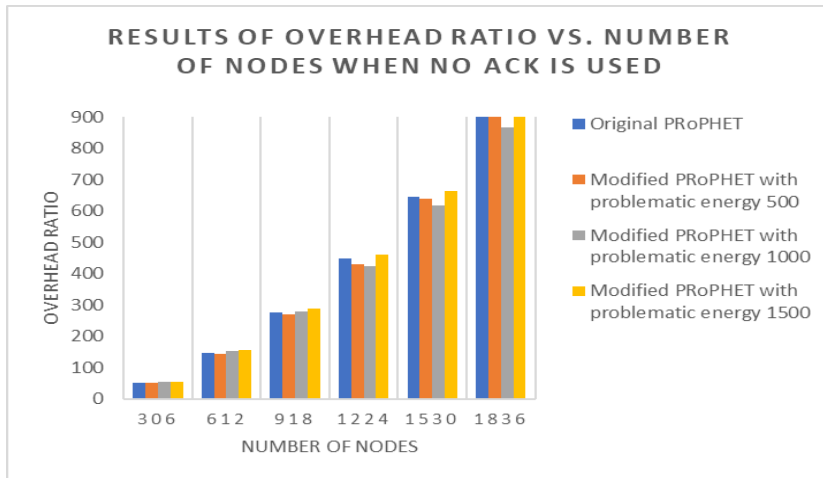


Figura 4.3 Overhead ratio vs. numri i nyjeve kur nuk përdoret ACK.

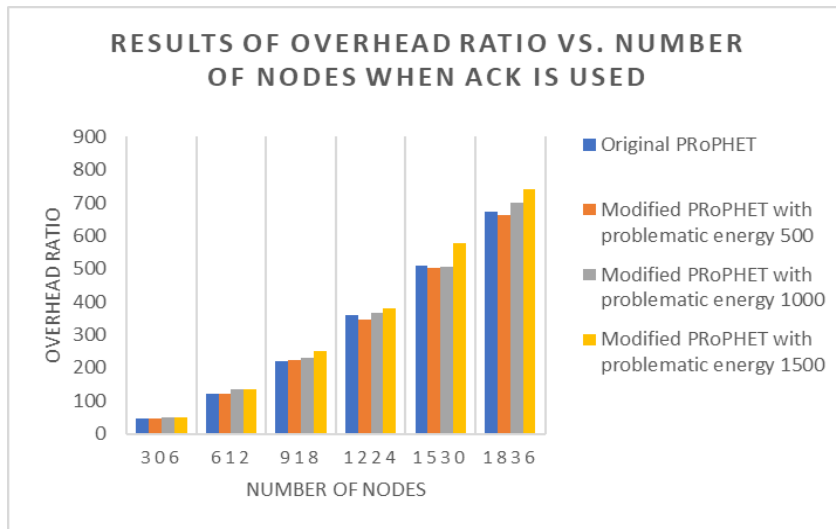


Figura 4.4 Overhead ratio vs. numri i nyjeve kur përdoret ACK.

Në Figurën 4.3 dhe Figurën 4.4 paraqitet efekti i ndryshimit të numrit të nyjeve në raportin e mbingarkesës kur përdoret njëri ose të dy mekanizmat.

Kur krahasohen rezultatet e raportit të overhead në Figurën 4.3 dhe Figurën 4.4, performancë më e mirë arrihet kur përdoren të dy mekanizmat. Raporti i mbingarkesës është pothuajse i njëjtë për PROPHET-in origjinal dhe versionet e modifikuara.

Një krahasim midis Figurës 4.3 dhe Figurës 4.4 tregon se mbingarkesa është më e lartë në Figurën 4.3 për të njëjtin numër nyjesh. Kjo lidhet kryesisht me ndryshimin në strategjinë e menaxhimit të buffer-it. Figura 4.4 përfshin një sistem menaxhimi të buffer-it të bazuar në ACK, i cili i heq menjëherë mesazhet e dorëzuara nga të gjithë buffer-at sapo të shpërndahet miratimi.

Kjo redukton përcjelljen e panevojshme të mesazheve, ul zënien e buffer-it dhe çon në një ulje të ndjeshme të mbingarkesës së përgjithshme.

Megjithatë, raporti i overhead rritet ndërsa rrjeti bëhet më i dendur. Rritja e numrit të kopjeve të mesazheve për shkak të takimeve më të shpeshta sjell më shumë mundësi për replikimin e mesazheve në protokollin e transmetimit oportunist. Kjo siguron një nga bazat e rrjeteve VDTN për dorëzim të suksesshëm, por gjithashtu rrit ndjeshëm numrin e transmetimeve në raport me numrin e mesazheve të dorëzuara me sukses, duke çuar kështu në rritjen e raportit të mbingarkesës.

### **Rezultatet për Kohën mesatare në buffer**

Koha mesatare në buffer është koha mesatare që mesazhet qëndrojnë në buffer-in e nyjeve gjatë tranzitit. Menaxhimi i kohës mesatare në buffer në DTN është i rëndësishëm sepse ndikon drejtpërdrejt në suksesin e dorëzimit të mesazheve, menaxhimin e buffer-it, efikasitetin energjetik, mbivendosjen dhe performancën e përgjithshme të protokollit. Duke minimizuar kohën mesatare në buffer, DTN mund të funksionojnë në mënyrë më efektive edhe në situata me burime të kufizuara si në aplikacionet IoT.

Figura 4.5 dhe Figura 4.6 paraqesin rezultatet për kohën mesatare të buffer-it kundrejt numrit të nyjeve kur përdoret një ose të dy mekanizmat. Koha mesatare e buffer-it përmirësohet kur të dy mekanizmat aplikohen në PROPHET. Mesazhet ACK do të shpërndahen në mënyrë epidemike në rrjet dhe nëse një nyje, gjatë përditësimit, gjen një paketë që është e njëjtë me ACK në buffer, ajo do t'i reduktojë vlerën Time to Live (TTL) në minimum, duke bërë që ajo paketë të fshihet në përditësimin pasues.

Rezultatet më të mira arrihen me një prag problematik energjie prej 1500 J dhe kur përdoren të dy mekanizmat. Në Figurën 4.5, koha mesatare në buffer ulet me rritjen e numrit të nyjeve, sepse një numër më i madh nyjesh çon në kontakte më të shpeshta dhe më shumë mundësi për përcjellje, të cilat ndihmojnë për të dorëzuar mesazhet më shpejt dhe për të reduktuar kohën e qëndrimit të tyre në buffer.

Figura 4.6 nuk paraqet një ulje të vazhdueshme të kohës mesatare të buffer-it me rritjen e numrit të nyjeve, për shkak të dinamikave të ndryshme të rrjetit dhe politikave të menaxhimit të buffer-it. Fluktuacionet mund të lindin nga faktorë të tillë si bllokime të përkohshme të buffer-it, shpërndarje e pabarabartë e nyjeve ose shterimi i energjisë që bën që disa nyje të rrjetit të vdesin.

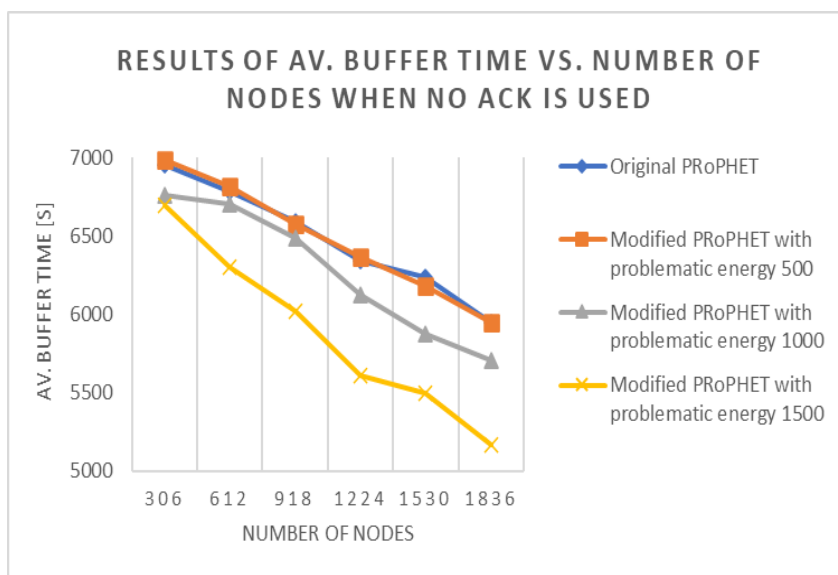


Figura 4.5 Koha mesatare ne buffer vs. numri i nyjeve kur nuk përdoret ACK.

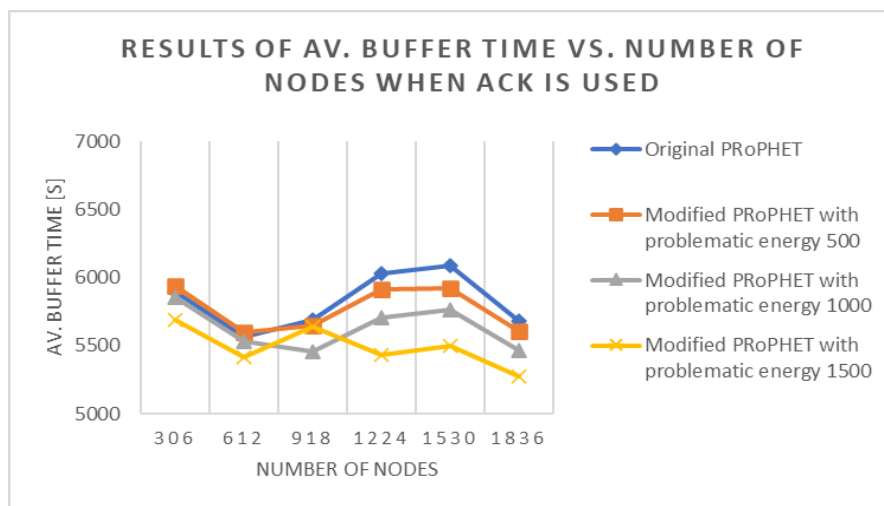


Figura 4.6 Koha mesatare në buffer vs. numri i nyjeve kur përdoret ACK.

Këta faktorë mund të shkaktojnë parregullsi në kohën e mbajtjes së mesazheve pavarësisht rritjes së dendësisë së nyjeve.

Ndërsa të dy figurat tregojnë tendencat në kohën e buffer-it me rritjen e numrit të nyjeve, është e qartë se për të njëjtin numër nyjesh, koha mesatare e buffer-it në Figurën 4.5 është vazhdimisht më e lartë se në Figurën 4.6. Ky ndryshim lind kryesisht për shkak të mungesës së menaxhimit të buffer-it me bazë ACK në Figurën 4.5. Pa mbështetjen e ACK (Figura 4.5), sapo

një mesazh të dorëzohet në destinacion, nyjet ndërmjetëse i mbajnë ende kopjet e atij mesazhi në buffer-et e tyre derisa të skadojë TTL. Kjo sjell periudha më të gjata mbajtjeje të mesazheve dhe rritje të ngarkesës mesatare të buffer-it, veçanërisht në rrjete më të dendura ku mundësitë e kontaktit janë më të shpeshta, por pa një mekanizëm efikas për të pastruar të dhënat e vjetruara.

Në Figurën 4.6, mekanizmi ACK siguron që sapo një mesazh të dorëzohet, ACK përkatës shpërndahet në të gjithë rrjetin. Nyjet që marrin ACK mund të identifikojnë menjëherë dhe të fshijnë mesazhin e dorëzuar nga buffer-ët e tyre. Kjo heqje e menjëhershme e mesazheve redukton ndjeshëm kohën mesatare që mesazhet qëndrojnë në buffer, veçanërisht në rrjete më të mëdha ku ACK-të shpërndahen shpejt falë rritjes së ndërveprimeve mes nyjeve.

Rezultatet konfirmojnë se integrimi i energy aware dhe menaxhimit të buffer-it rrit ndjeshëm qëndrueshmërinë dhe efikasitetin e protokollit krahasuar me metodat tradicionale. Kemi një reduktim total të energjisë, rritje të probabilitetit të dorëzimit, ulje të overhead të rrjetit, përmirësim i kohës në buffer. Gjithashtu kemi përmirësim të jetëgjatësisë së nyjeve krahasuar me PROPHET origjinal.

Rezultatet e arritura dëshmojnë se modifikimi i PROPHET mund të përdoret si bazë për ndërtimin e protokolleve inteligjente energjetike në rrjete heterogjene. Ky përmirësim është i rëndësishëm jo vetëm për mjediset klasike DTN, por edhe për arkitekturat e integruara VDTN-IoT-5G, ku automjetet, sensorët dhe rrjetet celulare bashkëveprojnë për shkëmbim të dhënash.

Integrimi i mekanizmit të energjisë në PROPHET mund të përshkruhet si hapi i parë drejt protokolleve të përshtatshme për Smart Cities, ku komunikimi nuk bazohet vetëm në lidhje, por edhe në gjendjen aktuale të burimeve dhe rëndësinë semantike të informacionit.

#### **4.4 Teknika II: Strategjia e Integruar e Pragut të Energjisë dhe Dërgimit me Përparësi**

Në vazhdim të optimizimit të protokolleve të rrugëzimit, kjo pjesë paraqet një qasje tjetër për përmirësimin e performancës së rrjeteve VDTN përmes skemës Integrated Energy Threshold dhe Priority Forwarding. Në mjedise urbane ku automjetet, sensorët IoT dhe infrastruktura 5G ndërveprojnë, balancimi midis efikasitetit energjetik, shkallës së dorëzimit dhe vonesës është kritik për qëndrueshmërinë e sistemit komunikues të qyteteve inteligjente.

## Strategjia e Propozuar e Dërgimit

Ndryshe nga teknikat e threshold approach të propozuara më parë [123] që kufizon ndërveprimin e pajisjeve nëse niveli i energjisë së tyre bie nën një vlerë pragu statike (static threshold value) sic paraqitet në Figurën 4.7. Ne kemi propozuar një strategji ku nuk përdorim thjesht qasjen e pragut siç edhe propozuam në modifikimin e PRoPHET por, përdorim logjikën e ndryshimit se vlera e përcaktuar e pragut nuk merret në konsideratë nëse paketat vijnë nga një nyjë me përparësi (priority node). Në një farë mënyre, ky lloj algoritmi përpiket të vlerësojë rëndësinë e mesazheve bazuar në pajisjet nga të cilat ato dërgohen.

Diagrami i rrjedhës i qasjes sonë të integruar të pragut dhe dërgimit me përparësi (integrated threshold and priority forwarding approach) paraqitet në Figurën 4.8. Protokollet Epidemic dhe Spray and Wait janë modifikuar për të funksionuar me prioritizimin e nyjeve (node prioritization). Nëse mesazhi vjen nga një nyjë tramvaji (tram node), ai klasifikohet si me përparësi të lartë (high priority)

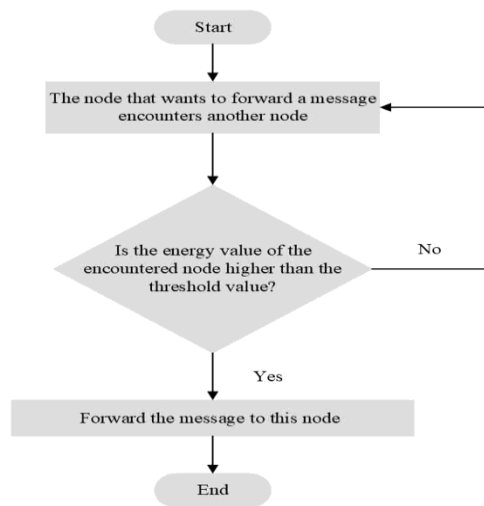
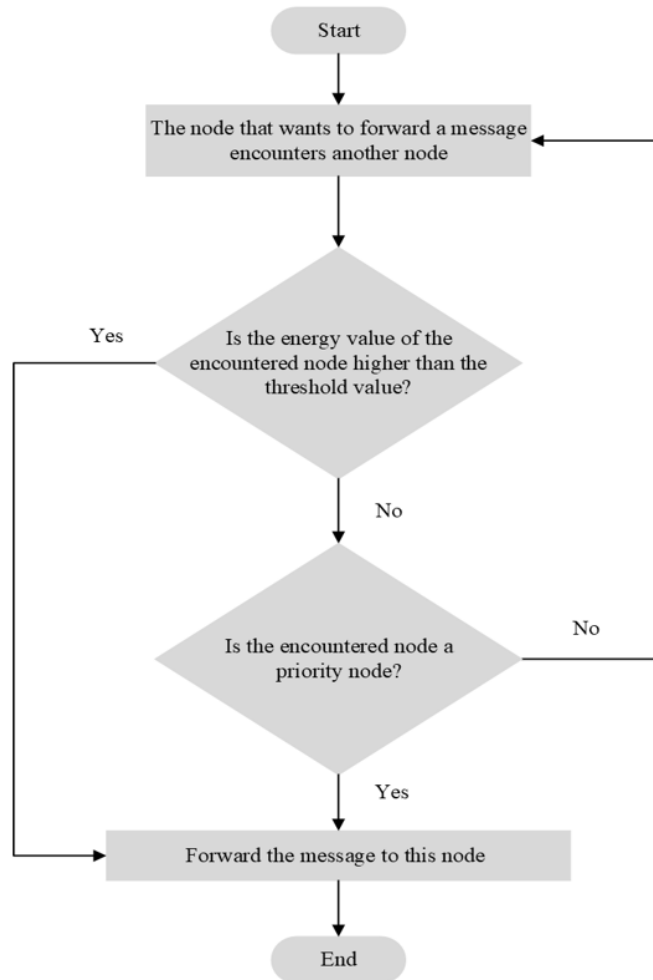


Figura 4.7 Rrjedhja logjike e teknikës me prag energjie.

(priority 1) dhe ky mesazh do të transmetohet edhe nëse niveli i energjisë i nyjës është nën vlerën e pragut.

Nëse mesazhi vjen nga nyje të tjera (si makina, autobusë, ose këmbësorë), ai konsiderohet si mesazh me përparësi normale (normal priority) (priority 0) dhe nuk mund të përcillet nëse niveli i energjisë i nyjës është nën vlerën e pragut. Në strategjinë e propozuar, nëse niveli i energjisë së një nyje bie nën vlerën e pragut, dhe përparësia e dërguesit është zero, ose nëse energjia e një nyje është shteruar plotësisht, pranimi i mesazhit refuzohet për shkak të burimeve të kufizuara.

Politika e hapësirës së buffer-it (available buffer space policy) kontrollohet për të përcaktuar nëse ka mjaftueshëm hapësirë për të pranuar mesazhin hyrës. Pas skadimit të kohës TTL (Time to Live), mesazhet fshihen dhe niveli i energjisë përditësohet.



*Figura 4.8 Rrjedha logjike e teknikës së propozuar me integrimin e pragut të energjisë dhe dërgimit me prioritet.*

#### 4.4.1 Metodologjia, skenaret dhe rezultatet e simulimit per Teknikën II

Në këto simulime është përdorur modeli i një dite tipike pune për të simuluar një mjedis real me modele të ndryshme të lëvizshmërisë si: Shortest Path Map Based Movement për këmbësorët, dhe Map Route Movement për tramvajet dhe makinat.

Në këtë simulim është përdorur një plan me përmasa 4500 m × 3400 m me hartën e Helsinkit, që përfshin rrugë për makina, këmbësorë dhe rrugë të dedikuara për tramvaje.

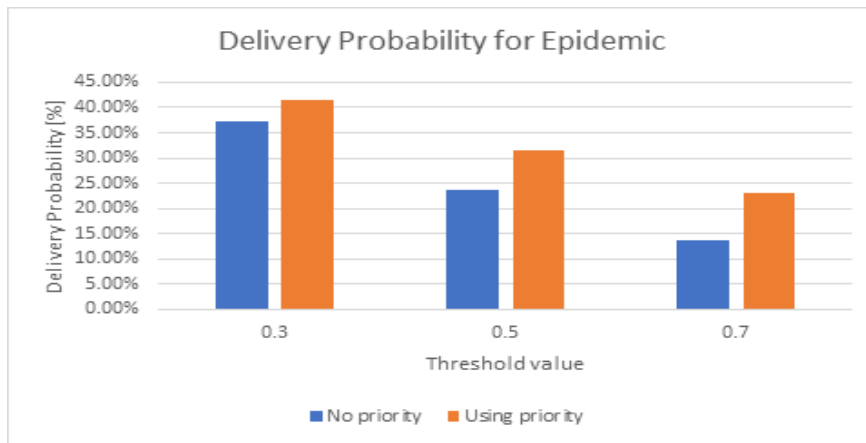
ëParametrat e tjerë të simulimit paraqiten në Tabelën 4.5. Koha totale e simulimit është 12 orë. Energjia fillestare e nyjeve është e njëjtë. Parametrat e energjisë paraqiten në Tabelën 4.6. Simulimet janë kryer për protokollet e rrugëzimit Epidemic dhe Spray and Wait.

*Tabela 4.5 Parametrat e simulimit*

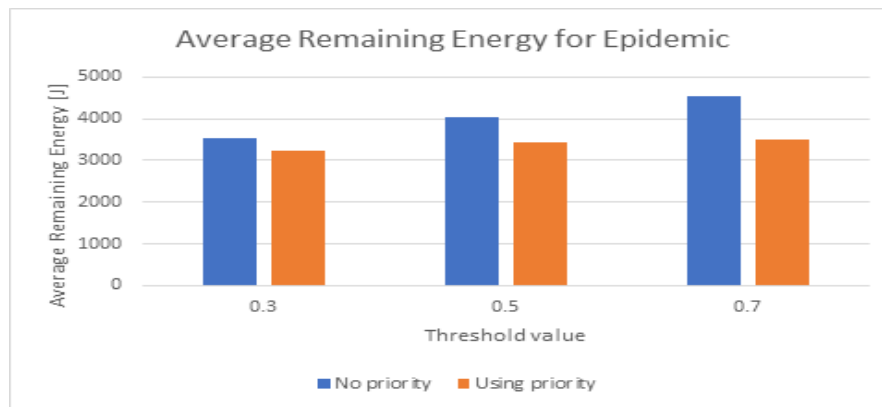
<b>Parametri</b>	<b>Vlera</b>
Numri i nyjeve mobile	180
Koha e simulimit	12 h
Madhësia e hartës	4.5 km×3.4 km
Tipi i ndërfaqes	WiFi
Shpejtësia e transmetimit të ndërfaqes	2 MBps
Distanca e transmetimit të ndërfaqes	100 m
Mesazhi TTL	5 h
Shpejtësia e makinës	0.5 - 30 m/s
Madhësia e mesazhit	500k, 1M
Intervali i krijimit të mesazhit	25-35 s

*Tabela 4.6 Parametrat e energjisë.*

<b>Parametri</b>	<b>Vlera</b>
Energjia fillestare e nyjes	3000
Energjia e skanimit	0.06
Energjia e përgjigjes së skanimit	0.08
Energjia e transmetuar	0.1
Energjia bazë	0.08



*Figura 4.9 Rezultatet e probabilitetit të dërgimit për protokollin Epidemic duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit.*

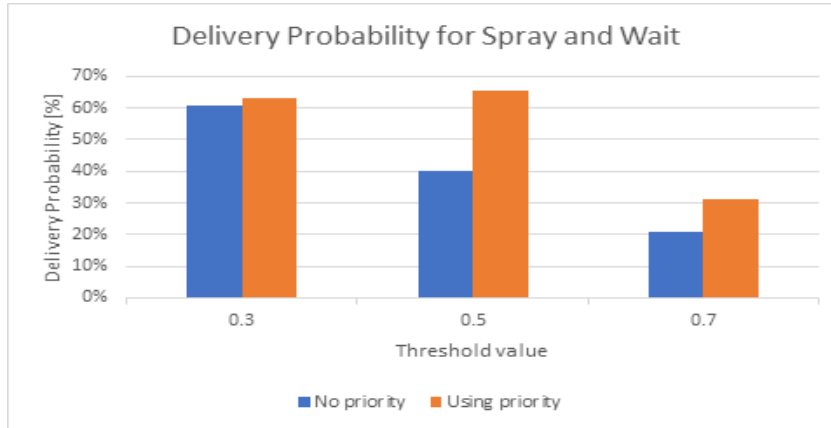


*Figura 4.10 Rezultatet për energjinë mesatare të mbetur për protokollin Epidemic duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit.*

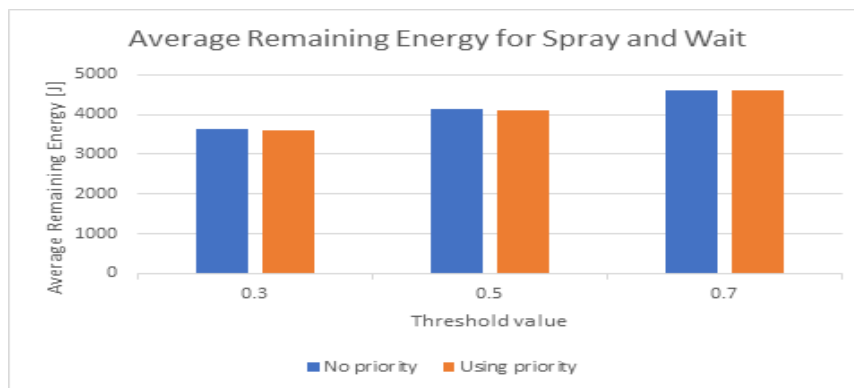
### **Rezultatet e probabilitetit të dërgimit dhe energjisë mesatare të mbetur për protokollin Epidemic**

Rezultatet e probabilitetit të dorëzimit të të dhënave dhe energjisë mesatare të mbetur për protokollin Epidemic paraqiten përkatësisht në Figurën 4.9 dhe Figurën 4.10. Janë kryer simulime për vlera të ndryshme të pragut (threshold). Nga rezultatet, vihet re se probabiliteti i dorëzimit zvogëlohet kur vlera e pragut rritet, sepse nyjet qëndrojnë në modalitet aktiv për më pak kohë.

Për Epidemic, për shkak të numrit të madh të kopjeve në rrjet, probabiliteti i dorëzimit përmirësohet me përdorimin e prioritetit, por energjia mesatare e mbetur, ulet.



*Figura 4.11 Rezultatet e probabilitetit të dërgimit për protokollin Spray and Wait duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit.*



*Figura 4.12 Rezultatet për energjinë mesatare të mbetur për protokollin Spray and Wait duke përdorur teknikën e pragut dhe duke përdorur teknikën e integruar të pragut dhe prioritetit.*

### **Rezultatet e probabilitetit të dërgimit dhe energjisë mesatare të mbetur për protokollin Spray and Wait**

Në Figurën 4.11 paraqiten rezultatet e probabilitetit të dorëzimit për Spray and Wait, duke përdorur qasjen e pragut (threshold approach) dhe qasjen e integruar me prag energjistik dhe përparësi (integrated threshold and priority approach).

Nga rezultatet e qasjes me pragun energjetik, probabiliteti i dorëzimit zvogëlohet për vlera më të larta të pragut, sepse nyja nuk përdoret për transmetimin e të dhënave nëse niveli i energjisë arrin vlerën e pragut. Edhe për qasjen e integruar që përdor përparësi, probabiliteti i dorëzimit zvogëlohet për vlera të larta të pragut; megjithatë, në këtë qasje mesazhet me përparësi vazhdojnë të transmetohen edhe pasi vlera e pragut arrihet. Pra, qasja që përdor përparësi arrin probabilitet më të lartë dorëzimi krahasuar me qasjen e thjeshtë të pragut.

Rezultatet e energjisë mesatare të mbetur për protokollin Spray and Wait paraqiten në Figurën 4.12. Rritja e vlerës së pragut çon në rritje të energjisë mesatare të mbetur. Për të dyja qasjet, energjia mesatare e mbetur është pothuajse e njëjtë.

Nga rezultatet mund të përfundohet se qasja e propozuar përmirëson probabilitetin e dorëzimit për protokollet Spray and Wait dhe Epidemic. Kjo qasje funksionon më mirë me protokollin Spray and Wait, pasi probabiliteti i dorëzimit përmirësohet, ndërsa energjia mesatare e mbetur e nyjeve mbetet pothuajse e pandryshuar.

## KREU V

### **TEKNIKA E BAZUAR NË GA PËR OPTIMIZIMIN E VENDOSJES SË GATEWAYS NË NJË RRJET TRANSPORTI NË SMART CITY TË MBËSHTETUR 5G DHE VDTN (RASTI STUDIMOR I TIRANËS)**

#### **5.1. Hyrje**

Rrjetet 5G mbështesin komunikimin dhe lidhjen në Sistemet Inteligjente të Transportit dhe Qytetet Inteligjente, siç theksohet nga [146]. Numri i sensorëve të përdorur në qytetet inteligjente dhe vëllimi i të dhënave të gjeneruara prej tyre është rritur ndjeshëm [147], ndërsa kostoja e përdorimit të 5G për transmetimin e sasive të mëdha të të dhënave, veçanërisht për ato që nuk kërkojnë dërgim në kohë reale, mund të jetë e lartë.

Integrimi i 5G me rrjetet VDTN në aplikimet e qyteteve inteligjente mund të përdoret për të adresuar problemet e lidhshmërisë dhe për të rritur efikasitetin e transmetimit të të dhënave në mjedise dinamike urbane, siç theksohet nga [148].

Ky kapitull paraqet propozimin e një modeli optimizimi për vendosjen e gateways në një rrjet real të linjave të autobuzave në një qytet inteligjent, të bazuar në 5G dhe VDTN duke përdorur Algoritmin Gjenetik Shumë-Objektiv NSGA-II. Sistemi i propozuar merr në konsideratë kompromiset ndërmjet ekuilibrit të ngarkesës së trafikut, optimizimit të mbulimit, kufizimit të kostove të vendosjes (numrit të gateways), si dhe garantimit të mbulimit të plotë të të gjitha stacioneve të autobusëve.

Studimet ekzistuese kanë trajtuar optimizimin e vendosjes së nyjeve, gateway-ve dhe RSU-ve në rrjete inteligjente përmes algoritmeve evolucionarë. Në [149] NSGA-II u përdor për vendosjen strategjike të pikave kontrolli në ITS, duke balancuar koston dhe mbulimin. Po ashtu, në artikullin [150] prezantohe GICA: një algoritëm gjenetik për mbulim optimal të RSU-ve në zona urbane të dendura.

Punimet [151] dhe [152] zbatuan NSGA-II për optimizimin e vendosjes së RSU-ve, duke reduktuar vonesat dhe kostot, ndërsa ruajtën mbulimin e lartë. Në [153], autorët integruan MOEA me NSGA-II dhe operatorë të personalizuar për përmirësimin e QoS në VANET.

Në punimin [154], NSGA-II u përdor për optimizimin e gateway-ve në WMN, duke përmirësuar throughput-in dhe balancimin e brezit të frekuencës. Autorët në [155] avancuan më tej MOEA-t për vendosjen e RSU-ve përgjatë segmenteve rrugore, duke balancuar kostot dhe QoS.

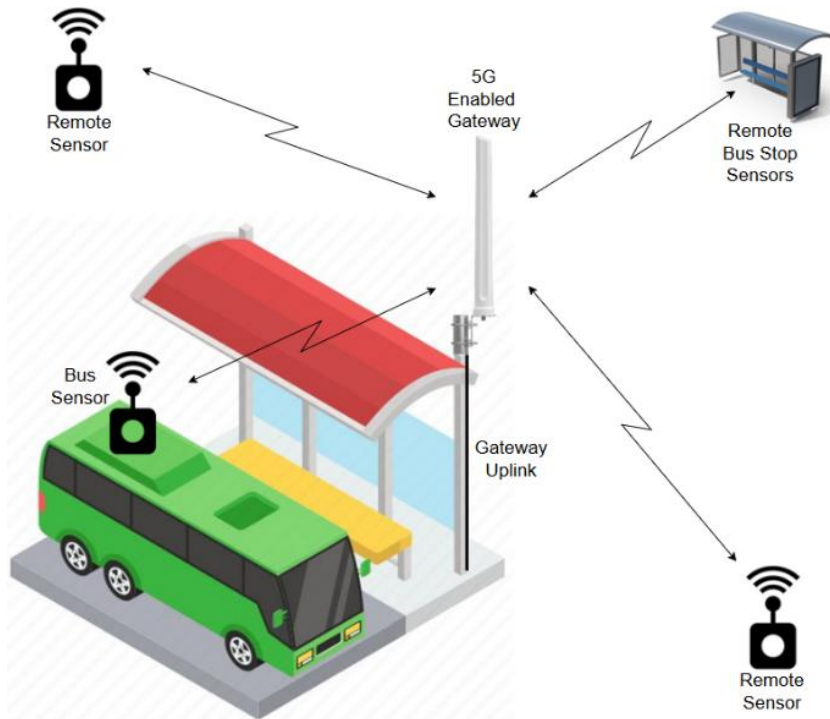
Për rrjetet heterogjene, punimet [156] dhe [157] trajtuan offloading e të dhënave përmes qasjeve hibride dhe oportuniste. Artikujt [158] dhe [159] theksuan rëndësinë e DTN-ve dhe offloading oportunist për reduktimin e trafikut celular dhe mbingarkesës së rrjetit. Në [160], autorët propozuan një kornizë me shumë objektiva për offloading të detyrave në IoV, duke përdorur SPEA2 për reduktimin e vonesës dhe kostos. Në [161] u përdor një metodë SA-DE për vendosjen optimale të routerëve në Wireless Mesh Networks, duke përmirësuar mbulimin dhe lidhjen.

Duke marrë në konsideratë të gjithë punimet për optimizimin e vendosjes së RSU-ve, ne kemi propozuar integrimin e teknologjive 5G, IoT dhe VDTN për Smart Cities duke optimizuar vendosjen e gateway-ve në rrjetin real të transportit publik të Tiranës. Ky punim përdor një algoritëm gjenetik shumë-objektiv për të balancuar kostot, mbulimin dhe ngarkesën e rrjetit, duke përfshirë një analizë të detajuar të rrezes së sinjalit 5G (300-1000 m). Kjo e bën modelin unik, sepse kombinon rrjetin dinamik të autobusëve (VDTN) me komunikimin 5G-IoT, duke ofruar një zgjidhje praktike dhe të verifikuar për planifikimin urban inteligjent dhe optimizimin e infrastrukturës së komunikimit në qytete reale.

## **5.2 Teknika III: Propozimi i një modeli të bazuar në GA për optimizimin e vendosjes së gateway-ve në rrjetin urban të transportit me autobusë në një arkitekturë 5G-VDTN për qytetin e Tiranës**

Siç e pamë në Kapitullin 3 arkitekturat hibride të teknologjive të komunikimit janë shumë të rëndësishme në Smart Cities. Ne propozojmë një arkitekturë të integruar 5G-VDTN për komunikimin sa më eficient të të dhënave për qytetin e Tiranës, Shqipëri. Arkitektura e propozuar paraqitet në Figurën 5.1. Në qytetet smart është e nevojshme që të menaxhohen gjithë burimet e të dhënave me një kosto sa më të ulët por gjithmonë duke realizuar dërgimin e tyre në destinacion sipas rëndësisë p.sh. të dhënat emergjente të dërgohen me urgjencë dhe shpejtësi të lartë me anë të 5G dhe të dhënat jo kritike të transmetohen me anë të VDTN. Me anë të VDTN dhe automjeteve të pajisura me sensorë mund të mblidhen të dhëna të ndryshme mjedisore por

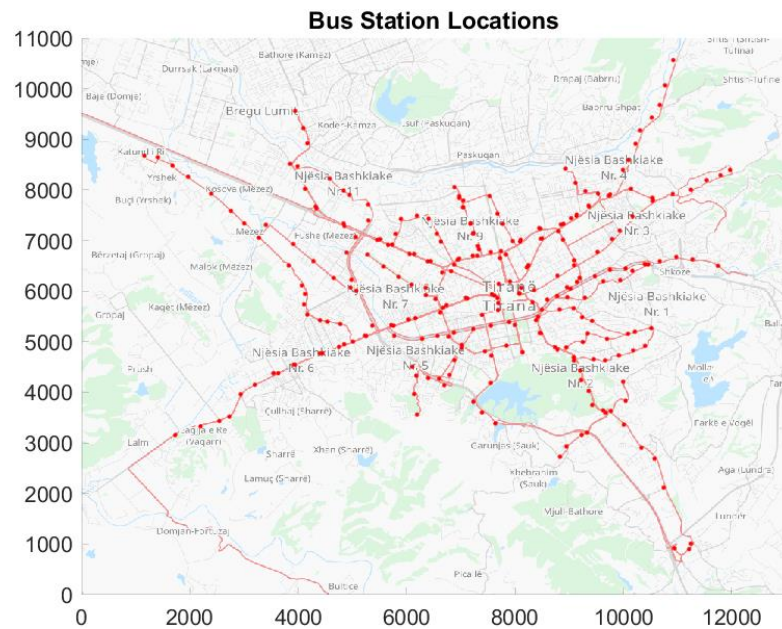
edhe të monitorohet infrastruktura. Arkitektura 5G-VDTN siguron komunikim efikas të të dhënave ndërmjet autobusëve, stacioneve dhe cloud-it përmes rrjetit 5G ku:



*Figura 5.1 Arkitektura e propozuar 5G – VDTN.*

- Të dhënat reale të linjave dhe stacioneve të autobusëve të Tiranës përdoren për të krijuar modelin e simulimit.
- Sensorët në autobusë, automjete dhe pajisje të këmbësorëve mbledhin të dhëna që dërgohen në gateway-t pranë stacioneve përmes VDTN-ve.
- Gateway-t transmetojnë të dhënat në cloud përmes 5G, duke garantuar shpejtësi dhe qëndrueshmëri më të lartë në transmetim.
- Qëllimi kryesor është minimizimi i numrit të gateway-ve me qëllim uljen e kostove në Smart Cities pa humbur mbulim të plotë të rrjetit.
- Autobusët ruajnë të dhënat në buffer derisa të afrohen me një gateway, duke shmangur humbjet dhe vonesat në transmetim.

- Një Algoritëm Gjenetik me Shumë Objektiv (MOGA) përdoret për të optimizuar vendosjen e gateway-ve në rrjetin urban të transportit me autobusë në Tiranë. Ky algoritëm eksploron hapësirën e zgjidhjeve për të gjetur numrin optimal dhe pozicionin më efikas të gateway-ve në qytet.



*Figura 5.2 Stacionet e autobusave që shërbejnë si kandidatë Gateway, Skenari me 21 linja autobuzi.*

### 5.3 Metodologjia, dhe Formulimi i Problemit

Ne kemi shfrytëzuar të dhënat e hapura nga Portali i të Dhënave të Hapura të Bashkisë Tiranë (<https://opendata.tirana.al/>, 10 Janar 2025), rrjetin e linjave të autobusëve të Tiranës, Shqipëri, që shtrihet në një rajon me përmasa 13 km me 11 km dhe përbëhet nga 21 linja autobusi dhe 267 stacione. Harta e paraqitur në Figurën 5.2, e marrë nga OpenStreetMap (OSM), jep informacion në lidhje me linjat e autobusëve dhe stacionet në zonat urbane dhe semi-urbane të Tiranës. Koordinatat gjeografike të stacioneve të autobusëve janë konvertuar në koordinata karteziene reale  $(x_m, y_m)$ , duke përdorur një pikë reference  $(x_o, y_o)$  të vendosur në (19.7247827 E, 41.2748911 N). Brenda kësaj zone, një ndryshim prej një grade në gjatësi gjeografike korrespondon me 83.92 km, ndërsa një ndryshim prej një grade në gjerësi gjeografike korrespondon me 111.2 km, të llogaritura duke përdorur ekuacionet haversine (1) dhe (2).

$$x_m = 83.92 \text{ km} * (\text{Longitude} - x_o) \quad (1)$$

$$y_m = 111.2 \text{ km} * (\text{Latitude} - y_o) \quad (2)$$

## Mjetet e simulimit

MATLAB (Matrix Laboratory) është një mjedis i fuqishëm programimi dhe analizash numerike, i zhvilluar fillimisht në fund të viteve '70 si një laborator matricash për llogaritje interaktive [162]. Një program me një gamë të gjerë funksionesh për përpunimin e të dhënave, vizualizim grafik dhe simulime të avancuara, e bëjnë atë një mjet të rëndësishëm në kërkimin shkencor dhe inxhinierik. Struktura e tij e optimizuar për llogaritje matricore rrit përdorimin gjerësisht për implementimin dhe analizimin e algoritmeve gjenetikë, duke lehtësuar modelimin, parametrizimin dhe vlerësimin e performancës së tyre në mënyrë efikase.

## Algoritmat gjenetikë

Algoritmat gjenetikë (GA) përfaqësojnë një nga qasjet meta-heuristike të frymëzuar nga proceset natyrore të evolucionit biologjik dhe përzgjedhjes natyrore. Sa më komplekse situatat aq më gjerësisht përdoren për të zgjidhur probleme optimizimi, ku kërkohet balancim ndërmjet disa objektivave konkurrues. GA fillon me një popullatë zgjidhjesh të mundshme (individë), të cilat evoluojnë brez pas brezi përmes operatorëve bazë si përzgjedhja, kryqëzimi dhe mutacioni, duke rritur gradualisht cilësinë e zgjidhjeve. Secili individ vlerësohet përmes një funksioni përshtatjeje (fitness), që përcakton probabilitetin e tij për të kontribuar në brezat e ardhshëm siç natyra funksionon. Duke u bazuar në këtë logjikë, është treguar efektive për të arritur zgjidhje optimale Pareto në probleme multi-objektive dhe ka gjetur përdorim të gjerë në fusha si inteligjenca artificiale, inxhinieria dhe optimizimi i rrjeteve [163].

Qëllimi kryesor i propozimit tonë është aplikimi i Algoritmit Gjenetik me Shumë Objektiva NSGA-II për optimizimin e shpërndarjes së nyjeve gateway për një VDTN, në lokacione të paracaktuara të rrjetit të autobusëve të një qyteti.

Algoritmi synon:

- të reduktojë numrin total të gateways të vendosura,

- të shpërndajë ngarkesën e punës në mënyrë të barabartë mes tyre,
- të maksimizojë sipërfaqen e mbulimit,
- dhe të garantojë që çdo stacion autobusi të jetë brenda rrezes së të paktën një gateway.

Funksioni i përshtatjes (fitness function) vlerëson zgjidhjet e mundshme bazuar në këto objektiva, duke penalizuar ato zgjidhje që nuk arrijnë të plotësojnë kërkesat.

Për të vlerësuar modelin e propozuar, është implementuar një Algoritëm Evolucionar Multi-Objektiv për të gjetur zgjidhjet optimale Pareto, konkretisht NSGA-II për trajtimin e tij.

Një nga algoritmet më të njohur të përdorur në MATLAB për optimizim evolutiv është NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II). Ky algoritëm, është një version i përmirësuar i NSGA dhe përdoret gjerësisht për optimizimin multiobjektiv. Ai funksionon duke ruajtur një ekuilibër midis diversitetit të zgjidhjeve dhe afërsisë ndaj frontit optimal Pareto, përmes mekanizmave si non-dominated sorting dhe crowding distance. NSGA-II ka efikasitet të lartë llogaritës, është i thjeshtë për t'u implementuar në MATLAB dhe ofron rezultate të qëndrueshme për një gamë të gjerë problemesh inxhinierike dhe shkencore që përfshijnë objektiva të shumtë që janë në konflikt me njëri-tjetrin.

Në NSGA-II, çdo iteracion gjeneron individë të rinj përmes operacioneve të përzgjedhjes, kryqëzimit dhe mutacionit, të cilët më pas kombinohen me popullatën ekzistuese të prindërve për të formuar një popullatë të përditësuar. Për të ruajtur madhësinë e qëndrueshme të popullatës, popullata e bashkuar i nënshtrohet non-dominated sorting dhe crowding distance computation. Bazuar në rezultatet e renditjes, individët më premtues ruhen për të krijuar gjeneratën e ardhshme.

Algoritmi Gjenetik, i paraqitur në Algoritmin 5.1, është implementuar në MATLAB duke përdorur funksionin gamultiobj. Ai fillon me një popullatë të gjeneruar rastësisht, ku secili individ përfaqësohet si një kromozom binar që paraqet një zgjidhje të problemit të shpërndarjes së gateway-ve. GA iteron derisa të arrihet ose një numër i paracaktuar brezash, ose përmirësimet në frontin Pareto të bëhen të parëndësishme.

## Formulimi i problemit

Në këtë studim, çdo element i problemit është formalizuar përmes një përfaqësimit matematik të thjeshtë dhe të strukturuar. Tabela 5.1 paraqet përkufizimin e variablave kryesore që përdoren në modelin e optimizimit të vendosjes së gateway-ve në rrjetin urban.

Tabela 5.1 Përshkrimi i variablave kryesore

Simboli / Variabla	Përshkrimi	Vlera / Tipi i të dhënës
$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$	Bashkësia e koordinatave karteziane që përfaqësojnë vendndodhjet e mundshme të stacioneve të autobusëve (kandidatët për vendosjen e gateway-ve).	Koordinata (x, y) për çdo stacion
$p_i$	Një stacion autobusi specifik brenda bashkësisë P.	Pikë karteziane
$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$	Kromozomi që përfaqëson çdo individ të popullatës në algoritmin gjenetik.	Vektor binar
$c_i$	Vlerë binare që tregon mungesën (0) ose praninë (1) të një gateway në pikën përkatëse $p_i$ .	0 ose 1
$r$	Rrezja e paracaktuar e njësisë radio që përcakton zonën e mbulimit të çdo gateway.	Vlerë numerike (m)

Problemi i vendosjes së gateways është projektuar për të përmbushur objektivat e mëposhtme:

1. **Minimizimi i Kostos së Vendosjes:** Zvogëlimi i numrit të gateways, duke minimizuar shpenzimet e vendosjes. Supozohet se kostot e lidhura me instalimin ose aktivizimin e një gateway janë të barabarta për çdo pikë kandidate. Ekuacioni (3) llogarit numrin e gateways aktive në një kromozom.

$$f_1 = \min \sum_{i=1}^n c_i \quad (3)$$

2. **Maksimizimi i Mbulimit (Coverage):** Shpërndarja e gateways në mënyrë që të maksimizohet mbulimi total, duke minimizuar mbivendosjen e rrezatimit, për të siguruar një mbulim efikas dhe interferenca minimale. Ekuacioni (5) llogarit sipërfaqen e mbivendosur midis zonave të mbulimit me rreze “r”, dhe distancë “d” midis qendrave të tyre. Rezultati përdoret nga Ekuacioni (4) për të llogaritur sipërfaqen totale të mbulimit.

$$f_2 = \min \left\{ - \left[ (\pi r^2 * \sum_{i=1}^n c_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n c_i c_j * A(\|p_i - p_j\|, r) \right] \right\} \quad (4)$$

$$A(d, r) = 2r^2 \arccos\left(\frac{d}{2r}\right) - \frac{1}{2}d\sqrt{(2r-d)(2r+d)} \quad (5)$$

3. **Minimizimi i Devijimit Standard të Stacioneve të Mbulimit nga secili Gateway:** Balancimi i ngarkesës së operimit dhe të dhënave që trajton secili gateway, duke synuar ruajtjen e një numri mesatarisht të ngjashëm stacionesh nën rrezen e mbulimit të secilit gateway. Ekuacioni (7) llogarit  $N_j$  (numrin e stacioneve të mbuluara nga gateway-i i j-të) dhe  $\bar{N}$  (numrin mesatar të pikave të mbuluara për çdo gateway), të cilat përdoren si argumente në Ekuacionin (6) për të vlerësuar devijimin standard.

$$f_3 = \min \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n (c_i)} * \sum_{j=1}^n c_j * (N_j - \bar{N})^2} \quad (6)$$

$$N_j = \sum_{k=1}^n I(\|p_k - p_j\| \leq r) \quad \bar{N} = \frac{\sum_{j=1}^n (c_j * N_j)}{\sum_{i=1}^n (c_i)} \quad (7)$$

4. **Sigurimi i Mbulimit të Plotë:** Ky është një objektivi kufizues i përdorur për të konfirmuar që çdo stacion autobusi të mbulohet nga të paktën një gateway. Heqja e zgjidhjeve të papajtueshme rrit cilësinë e tyre dhe ndihmon në një konvergjencë më të shpejtë të algoritmit. Ekuacioni (8) ndihmon në gjetjen e zgjidhjeve të papajtueshme, duke kthyer një vlerë pozitive kur zbulon stacione autobusi të pambuluara.

$$f_4 = \sum_{k=1}^n (1 - x_k) \quad x_k = \begin{cases} 1 & \exists c_i = 1 \text{ such that } \|p_k - p_i\| \leq r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Nëpërmjet simulimeve dhe rregullimeve të hollësishme, janë zgjedhur argumentet më të mira të GA-së, të listuara më poshtë si opsione hyrëse për testimin e skenarëve tanë.

---

*Algoritmi 5.1. Algoritmi gjenetik*

---

Algorithm GA\_Gateway\_Optimization (N, P, R, Max\_Generations, Func\_Tolerance)

Input: Population size N, Bus stops P, Coverage radius R, Max generations

Output: Optimized gateway placement

Initialize:

Define chromosome bounds: LowerBound  $\leftarrow$  0, UpperBound  $\leftarrow$  1

Generate initial population: Population  $\leftarrow$  Random\_Binary(N, |P|)

Evaluate fitness for each chromosome in Population

While stopping criteria not met:

If Current\_Generation > Max\_Generations OR Improvement < Func\_Tolerance:

Break loop

Selection: Apply Tournament Selection

Crossover: Apply Crossover\_Function() on selected parents, crossover rate set to 80%

Mutation: Apply Mutation\_Function() to introduce genetic diversity

Evaluate new population:

Compute fitness using Fitness\_Function()

Store best solutions for Pareto front update

Generate next generation:

---

Replace worst solutions with best offspring

Return best solutions from Pareto front

## Operatorët Gjenetikë

### *Përzgjedhja*

Në çdo brez, individët më të përshtatshëm zgjidhen për riprodhim në bazë të vlerës së tyre të përshtatshmërisë. Përdoret metoda e përzgjedhjes me turne (Tournament selection), ku disa kandidatë përzgjidhen rastësisht dhe fituesi, ai me fitness më të lartë kalon në gjeneratën pasuese.

### *Kryqëzimi (Crossover)*

Rikombinimi i kromosomeve prindërore realizohet përmes kryqëzimit me dy pika, ku segmentet ndërmjet dy pozicioneve shkëmbehen për të gjeneruar pasardhës me kombinime të reja gjenetike dhe për të rritur diversitetin e popullatës.

### *Mutacioni (Mutation)*

Për të shmangur konvergencën e parakohshme, zbatohet mutacioni uniform, i cili ndryshon rastësisht disa gjene brenda kromozomit. Ky proces ruan diversitetin dhe ndihmon eksplorimin e hapësirës së zgjidhjeve.

## **Funksioni i Përshtatjes (Fitness Function)**

Çdo individ i popullatës, pra çdo kromozom, përfaqëson një zgjidhje për problemin e shpërndarjes së gateway, ku një gjen i caktohet me vlerën **1** për të treguar vendosjen e një gateway specifikisht në atë stacion autobusi, ose **0** për të treguar mungesën e gateway-t. Funksioni i përshtatjes, i paraqitur në Algoritmin 5.2, verifikon cilësinë e çdo zgjidhjeje duke e vlerësuar atë kundrejt 4 objektivave të përcaktuara më sipër.

Gjatë çdo iteracioni të Algoritmit Gjenetik (GA), funksioni i përshtatjes verifikon numrin e gateway-ve për çdo individ, i cili është objektivi kryesor për t'u minimizuar në mënyrë që të ulen kostot e vendosjes së zgjidhjes. Së dyti, funksioni i përshtatjes llogarit mbivendosjen dhe mbulimin e përgjithshëm të rrezatimit të gateway-ve, dhe jep si rezultat zgjidhjen më të mirë të mbulimit me ndërhyrje minimale midis gateway-ve fqinj:

$$Coverage = -[(\pi * R^2) * GatewayCount - Overlap].$$

Shenja minus para kllapave katrore tregon që ne po përqipemi të maksimizojmë mbulimin duke minimizuar këtë shprehje. Në objektivin e tretë, duke gjetur numrin e stacioneve të autobusëve të mbuluara nga secila nyje gateway dhe duke llogaritur devijimin standard:

$$StandardDeviation = \sqrt{(1/ GatewayCount) * \sum(CoveragePerGW - AVE(CoveragePerGW)^2)}$$

ne zbulojmë ngarkesën e përgjithshme të rrjetit për gateway-t dhe synojmë ta minimizojmë atë.

#### *Algoritmi 5.2. Algoritmi fitnes*

Algorithm Fitness\_Function (Chromosome, P, R)

Input: Chromosome (binary vector), P (bus stop coordinates), R (GW radius)

Output: Fitness values (Number of Gateways, Coverage, Standard Deviation)

Initialize variables:

GatewayCount ← 0

Overlap ← 0

CoveragePerGW ← empty list

Count the number of active gateways:

For each gene ch in Chromosome:

If ch == 1:

GatewayCount ← GatewayCount + 1

Compute Overlap:

For each pair of gateways (i, j):

If both i and j are active (ch[i] == 1 and ch[j] == 1):

Compute distance d ← Distance(P[i], P[j])

If 0 < d < 2R:

Overlap ← Overlap + Intersection\_Area(d, R)

Compute Coverage:

TotalCoverage  $\leftarrow -[(\pi * R^2 * \text{GatewayCount}) - \text{Overlap}]$

Compute Standard Deviation of Load:

For each active gateway g:

Count covered bus stops:

CoveragePerGW[g]  $\leftarrow$  Count of stops within radius R

Compute StandardDeviation  $\leftarrow$  STD(CoveragePerGW)

Ensure all bus stops are covered:

For each bus stop k:

If no gateway covers stop k:

Return (Inf, Inf, Inf)

Return Fitness Values:

Return (GatewayCount, TotalCoverage, StandardDeviation)

Së fundi, ne verifikojmë nëse çdo zgjidhje e mundshme përputhet me kushtin e mbulimit të të gjitha stacioneve të autobusëve në rrjet, duke vendosur penalitete për zgjidhjet që nuk i mbulojnë plotësisht të gjitha stacionet e autobusëve, sipas Ekuacionit (9). Ky mekanizëm siguron që vetëm zgjidhjet që e plotësojnë atë të kalojnë në gjeneratat pasuese.

$$\text{fitness} = \begin{cases} [\infty, \infty, \infty] & \text{for } f_4 > 0 \\ [f_1, f_2, f_3] & \text{for } f_4 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

## 5.4 Rezultatet e Simulimit për Teknikën III

### 5.4.1 Skenari me rreze të ndryshme rrezatimi të njësisë radio

Brezi i frekuencave që përdoret në mjedise urbane të dendura është në rendin mmWave (28 GHz dhe 39 GHz) dhe rrezja e mbulimit arrin 100 deri në 500 metra. Në brezin e frekuencave mid-band (3.5 GHz dhe 4.9 GHz) kemi një mbulim nga 500 metra deri në 2 kilometra.

Kompleksiteti kohor i NSGA-II në përgjithësi është  $O(M*N^2)$ , ku M i referohet numrit të objektivave (M=3) dhe N madhësisë së popullatës. Duke marrë parasysh një madhësi të fiksuar popullore prej 1000 dhe një ekzekutim prej 1000 gjeneratash për algoritmin gjenetik, koha e ekzekutimit rritet me rreth 60% kur krahasojmë skenarët e vendosjes me 165 dhe 267 ndalesa autobusi, për shkak të kromozomit më të gjatë. Madhësia e popullatës ose numri i gjeneratave mund të rregullohet, por kjo ndikon në cilësinë e zgjidhjes në këmbim të efikasitetit llogaritës.

Simulimi merr parasysh 21 linja autobusi me gjithsej 267 ndalesa autobusi si kandidatë të mundshëm për vendosjen e gateway-ve, siç paraqitet në Figurën 5.2. Për t'u përshtatur me standardet e 5G, testohen tre skenarë rrezatimi duke krahasuar rrezen e njësisë radio:

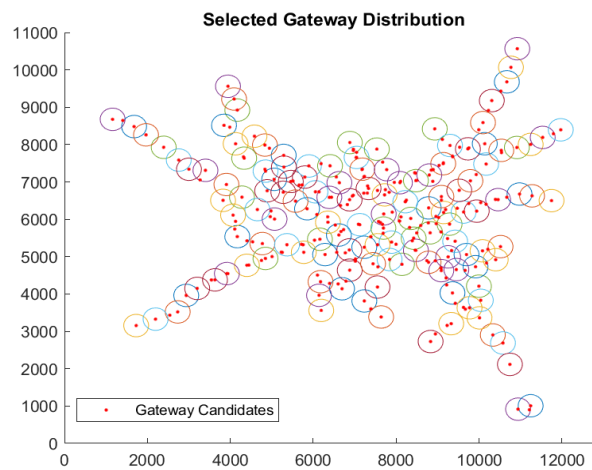
- 300 metra (aplikim për gNodeB mmWave)
- 500 metra (mund të vendoset si mmWave ose gNodeB mid-band)
- 1000 metra (aplikim për gNodeB mid-band)

*Tabela 5.2 Varësia e parametrave të optimizimit nga rrezja e njësisë së rrezatimit radio për 21 linja autobuzi*

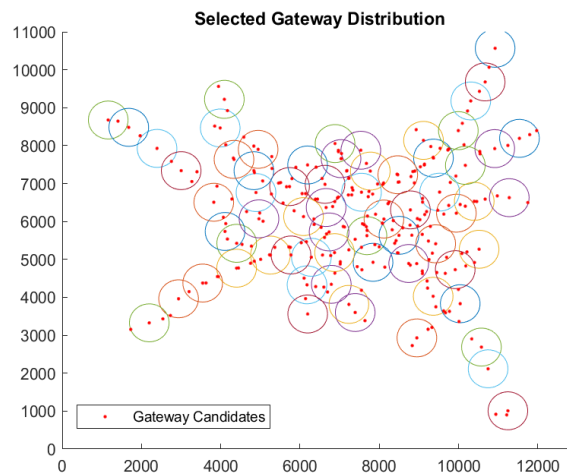
Rrezja e njësisë radio	Parametrat e optimizimit	Gjeneratat GA			
		100	250	500	1000
300 m	Gateways	154	141	140	138
	Coverage (km <sup>2</sup> )	32.85	33.32	33.35	33.41
	Std. Deviation	1.01	1.00	0.99	0.99
500 m	Gateways	137	90	69	67
	Coverage (km <sup>2</sup> )	40.95	41.72	47.16	47.40
	Std. Deviation	2.73	2.09	1.73	1.71
1000 m	Gateways	28	27	27	27

Rrezja e njësisë radio	Parametrat e optimizimit	Gjeneratat GA			
		100	250	500	1000
	Coverage (km <sup>2</sup> )	70.17	74.88	76.53	76.81
	Std. Deviation	5.04	4.77	4.69	4.61

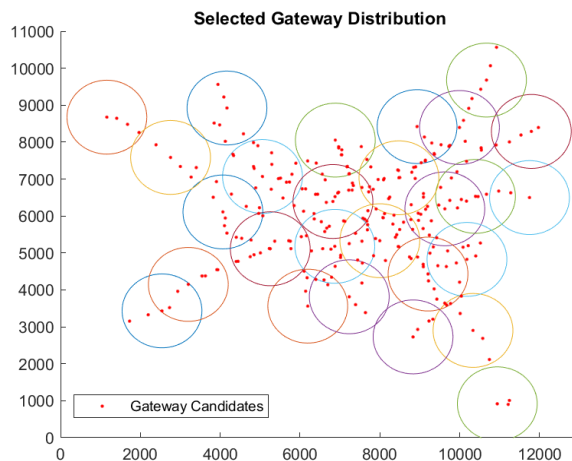
Duke testuar secilin skenar, synojmë të verifikojmë topologjinë më të mirë të vendosjes, duke plotësuar objektivat tona. Rezultatet e simulimit dhe varësia e tyre nga rrezja e rrezatimit të njësisë radio paraqiten në Tabelën 5.2 ndërsa shpërndarja e topologjisë së vendosjes për secilin aplikim paraqitet në Figurën 5.3.



a) Rrezja 300m



b) rrezja 500m



c) rrezja 1000m

*Figura 5.3 Vendosja e Gateways për 267 stacione autobusi, duke përdorur RU me rreze të ndryshme.*

Ndërsa rrezja e gateway-it rritet, mbulimi i pikave kandidate bëhet më i lehtë. Në skenarin me rreze 300 metra, nevojitet një gateway për dy pika kandidate, ndërkohë që në skenarin me rreze 1000 metra një gateway mbulon mesatarisht 10 stacione autobusi, duke favorizuar ndjeshëm përta i përket kostove të vendosjes. Rritja e rrezes sjell gjithashtu përfitime për sipërfaqen totale të mbulimit, e cila siguron një mjedis më të gjerë për aplikimet e VDTN-ve dhe alternativa për shkallëzim në të ardhmen.

Një kompromis në këtë rast do të ishte shpërndarja jo e barabartë e ngarkesës së përpunuar nga gateway-t, gjë që reflektohet në vlerën e devijimit standard. Gateway-t në zonat e dendura urbane të qytetit mund të përballen me bllokime gjatë orëve të pikut, duke ndikuar në performancën e rrjetit dhe përvojën e përdoruesve. Një zgjidhje për të përmbushur të gjithë parametrat e kërkuar mund të jetë skenari me rreze 500 metra, i cili ofron një balancë të mirë në të gjitha objektivat e optimizimit. Gjithashtu, mund të konsiderohet një qasje hibride që përdor një kombinim të varianteve të gNodeB, në varësi të dendësisë së stacioneve të autobusëve.

- Me rritjen e rrezes së gateway-it, mbulimi i pikave kandidate bëhet më i lehtë.
- Në skenarin me rreze 300 metra, nevojitet një gateway për çdo dy pika kandidate.
- Në skenarin me rreze 1000 metra, një gateway mbulon mesatarisht 10 stacione autobusi, duke e bërë këtë skenar më të favorshëm për kostot e vendosjes.

- Rritja e rrezes sjell përfitime edhe për sipërfaqen totale të mbulimit, duke krijuar një mjedis më të gjerë për aplikimet e VDTN-ve dhe mundësi më të mira për shkallëzim në të ardhmen.

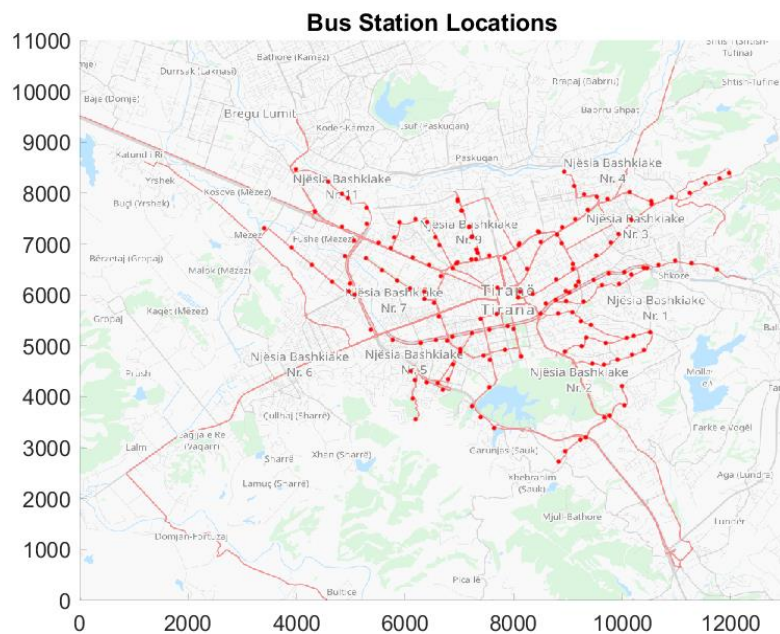
Kombinimi i varianteve gNodeB do të ishte i vlefshëm në këtë rast ose varianti 500 metra i cili ofron një balancë të mirë në të gjithë objektivat e optimizimit.

#### 5.4.2 Skenari me ndryshimin e linjave të autobusave

Duke qenë se 21 linjat e autobusave të marra në konsideratë janë dhe në zona urbane dhe në semi urbane fokusi jonë është në zona urbane me dendësi të lartë për smart cities prandaj do të marrim në konsideratë 15 linja autobusësh me një total prej 165 stacione si kandidatë për vendosjen e gateway-ve, siç tregohet në Figurën 5.4. Kjo vlen për të ulur numrin e gateway të vendosur por duke rritur ngarkesën e këtyre gateway.

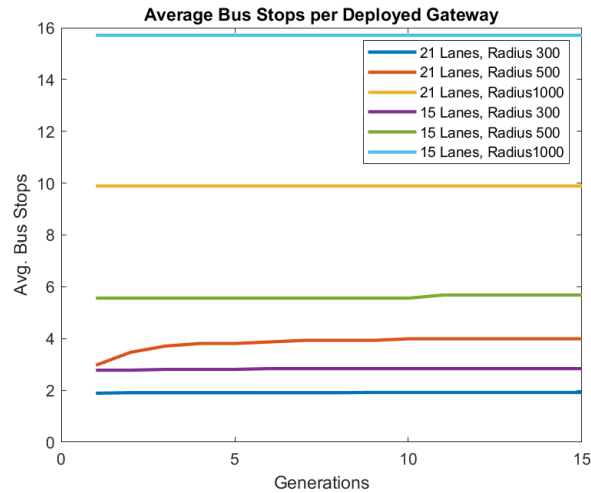
*Tabela 5.3 Varësia e parametrave të optimizimit nga rrezja e njësisë së rrezatimit radio për 21 linja autobuzi*

Rrezja e njësisë radio	Parametrat e optimizimit	Gjeneratat GA			
		100	250	500	1000
300 m	Gateways	99	96	94	94
	Coverage (km <sup>2</sup> )	22.72	22.77	22.79	22.82
	Std. Deviation	0.92	0.92	0.92	0.92
500 m	Gateways	50	48	48	47
	Coverage (km <sup>2</sup> )	32.07	32.46	32.66	32.70
	Std. Deviation	1.57	1.42	1.39	1.34
1000 m	Gateways	17	17	17	17
	Coverage (km <sup>2</sup> )	47.58	49.51	49.51	51.12
	Std. Deviation	2.72	2.52	2.51	2.51

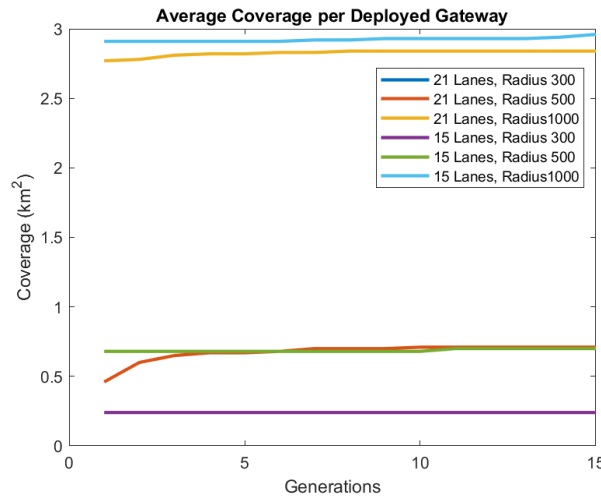


*Figura 5.4 Ndalesat e autobusit që shërbejnë si kandidatë Gateway, Skenari me 15 linja autobuzi.*

Rezultatet e simulimit për këtë skenar paraqiten në Tabelën 5.3. Duke ulur numrin e linjave të autobusave dhe zvogëlimin e hapësirës së testimeve kemi një rënie të numrit total të stacioneve të autobusëve për shkak të reduktimit të kandidatëve për vendosjen e gateway. Vendorsja e gateway dhe numri i stacioneve të autobusave për çdo gateway bie ndjeshëm krahasuar me rastin e simulimit të 21 linjave të autobusëve, duke ruajtur gjithashtu vlera të mira për devijimin standard. Por, nuk kemi përmirësim të mbulimit total nga çdo gateway. Rezultatet e krahasimit të efikasitetit paraqiten në Figurën 5.5.



a) rezultatet për mesataren e ndalesave të autobuzave për çdo gateway të aplikuar

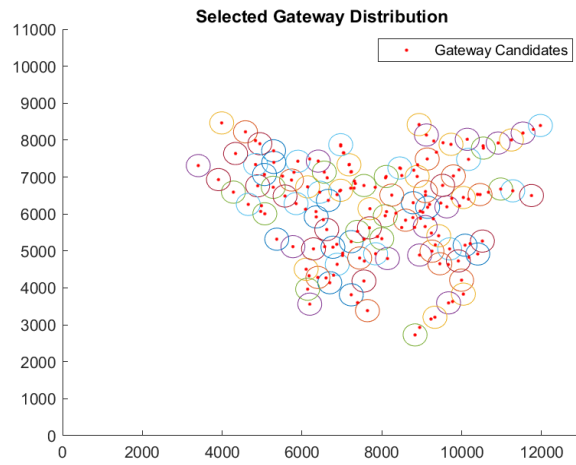


b) rezultatet për mbulimin mesatar për gateway të aplikuar

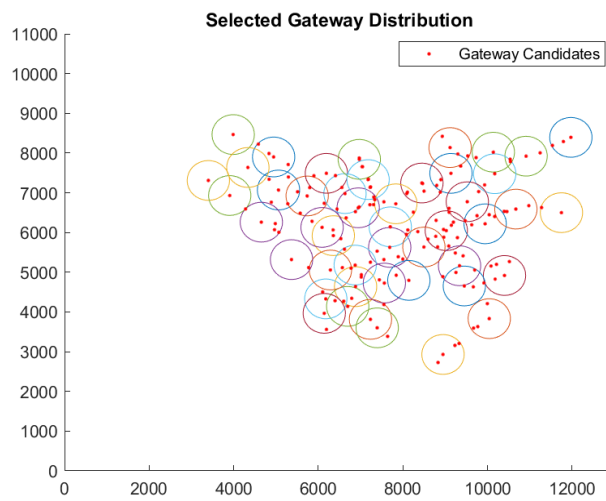
*Figura 5.5 Krahasim i efijencies midis skenarit me 21 linja autobuzi dhe atij me 15 linja autobuzi.*

Një kombinimin i 15 linjave të autobuzave dhe rreze mbulimi të teknologjisë 5G 1000 metra ka sjellë si rezultat një performancë më të mirë: ulje të numrit të gateways.

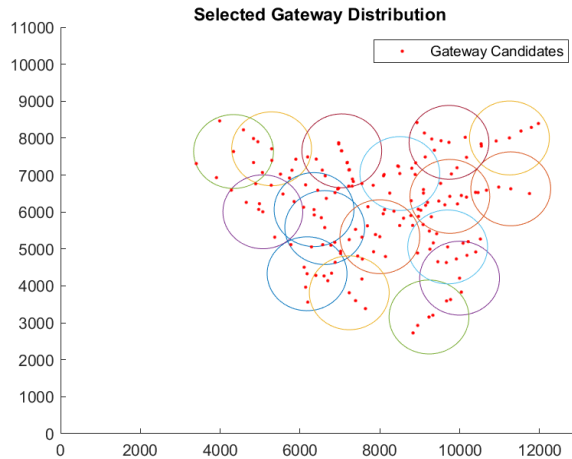
Për më tepër, devijimi standard është përmirësuar në të gjitha skenarët si rezultat i reduktimit të pikave kandidate dhe ngushtimit të zonës së studimit. Disproporcioni i ngarkesës së trafikut mbetet një problem në krahasim me rastin me 21 linja autobusësh, i cili mund të zgjidhet me vendosjen e teknologjive hibride. Topologjia e shpërndarjes së gateways për skenarët e simuluar paraqitet në Figurën 5.6.



a) rreze 300m



b) rreze 500m



c) rreze 1000m

Figura 5.6 Vendosja e Gateway për 165 stacione autobuzi duke përdorur njësi radio me rreze të ndryshme.

### 5.4.3 Skenari me zgjedhjen e lokacioneve të detyrueshme për gateway

Një element shumë i rëndësishëm është marrja në konsideratë e stacioneve që kanë shumë linja autobuzi për arsye strategjike si mbulimi, menaxhimi i trafikut dhe lidhja me stacionet fqinje. Pra algoritmi gjenetik tashmë nuk mund të bëjë pozicionim fillestar të gateway të rastësishëm për të gjitha gateway në të dy skenarët me 21 dhe me 15 linja autobuzash.

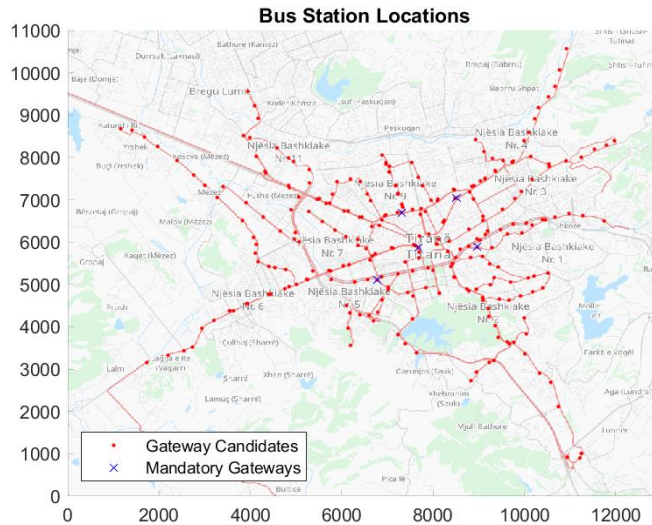
Bazuar në analizën për 21 dhe 15 linja autobusi, u përcaktuan si lokacione të detyrueshme për gateways stacionet:

- Ali Demi (41.3277754 N, 19.8316493 E)
- Dollari (41.3276233 N, 19.8162193 E)
- Harry Fultz (41.3351531 N, 19.8118441 E)
- Vasil Shanto (41.3207672 N, 19.8055091 E)
- Medreseja (41.3382089 N, 19.8260599 E)

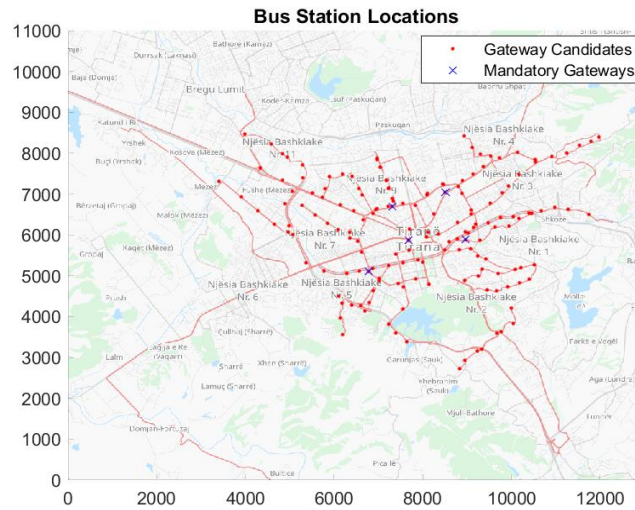
Disa modifikime u bënë në algoritëm për të përfshirë lokacionet e detyrueshme të gateways. Në algoritmin gjenetik, çdo individ i popullatës fillestare u detyrua të përfshinte këto pika si gateway, ndërsa në funksionin e fitness u shtua penalitet për kromozomet që nuk i përmbanin ato.

$$\text{fitness} = \begin{cases} [\infty, \infty, \infty] & \text{mandatory gateways are missing} \\ \text{continue} & \text{mandatory gateways are present} \end{cases} \quad (10)$$

Lokacionet e detyrueshme janë shënuar me kryqe blu në Figurën 5.7. Testimi u realizua kryesisht me rrezet 300 m dhe 500 m, pasi në 1000 m mbulimi është tepër i gjerë për të reflektuar optimizimin lokal. Topologjia e shpërndarjes për të dy rastet (21 dhe 15 linja) paraqitet në Figurën 5.8.



a) 21 linja autobuzi



b) 15 linja autobuzi

*Figura 5.7 Kandidatët e gateway dhe lokacionet e detyrueshme të gateway për 21 linja autobusi dhe 15 linja autobusi.*

Tabelat 5.4 dhe 5.5 paraqesin rezultatet e parametrave të optimizimit nën kufizimin që gateways e detyrueshme të mbeten aktive brenda rrjetit. Kjo teknikë ka sjellë rezultate shumë

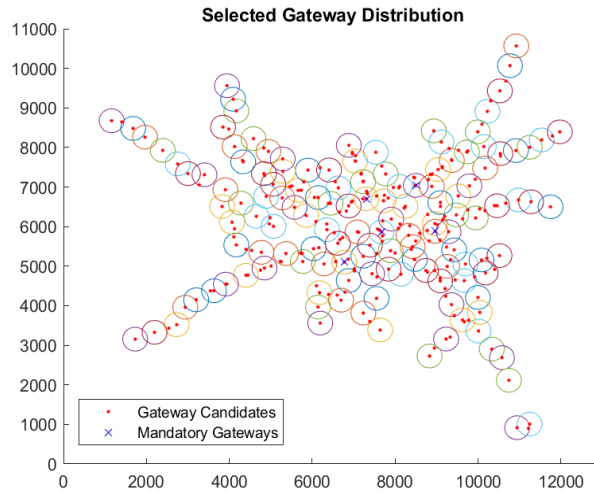
pozitive në krahasim me gateway që u vendosën të gjitha në mënyrë të rastësishme. Numri i gateway të vendosura është reduktuar, kemi reduktim të zonës së interferencave, performanca e gjeneratave të mëparshme e tejkalon atë të rastit të skenarëve në mënyrë të rastësishme. Kemi një mbulim total të mbetur pothuajse të pandryshuar ndërsa devijimi standard shfaq pak përkeqësim por që është i pranueshëm për shkak të përmirësimit të vendosjes së gateway.

*Tabela 5.4 Parametrat e optimizimit për 21 linja autobusi dhe 5 gateway të detyrueshme*

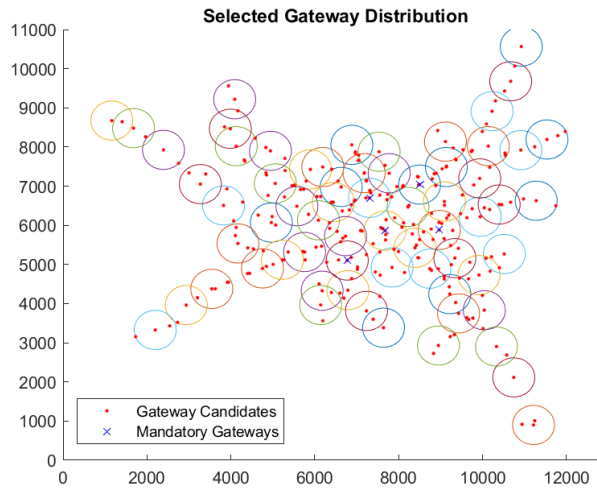
Rrezja e njësisë radio	Parametrat e optimizimit	Gjeneratat GA			
		100	250	500	1000
300 m	Gateways	142	137	136	135
	Coverage (km <sup>2</sup> )	33.25	33.32	33.37	33.39
	Std. Deviation	1.07	1.06	1.04	1.04
500 m	Gateways	74	67	65	65
	Coverage (km <sup>2</sup> )	45.48	46.53	46.65	46.89
	Std. Deviation	1.96	1.84	1.84	1.83

*Tabela 5.5 Parametrat e optimizimit për 15 linja autobuzi dhe 5 lokacione të detyrueshme gateway*

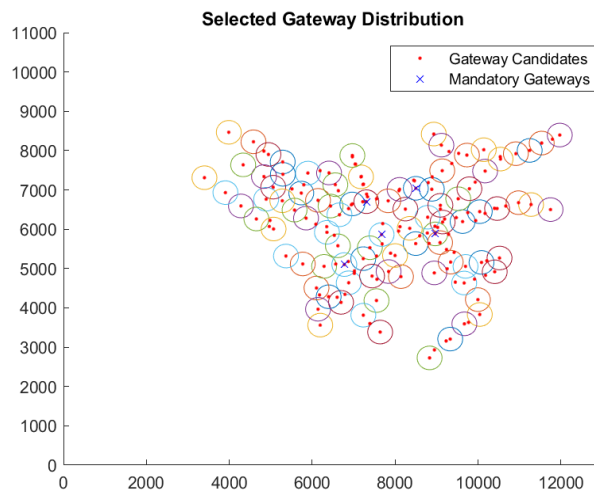
Rrezja e njësisë radio	Parametrat e optimizimit	Gjeneratat GA			
		100	250	500	1000
300 m	Gateways	96	94	93	93
	Coverage (km <sup>2</sup> )	22.68	22.72	22.75	22.75
	Std. Deviation	0.95	0.95	0.95	0.95
500 m	Gateways	44	44	44	41
	Coverage (km <sup>2</sup> )	32.47	32.53	32.54	32.81
	Std. Deviation	1.67	1.67	1.67	1.67



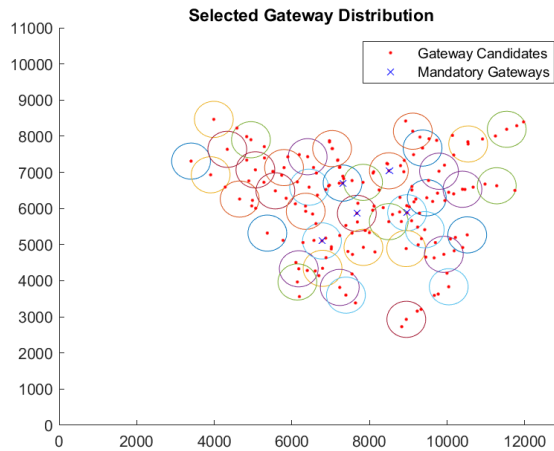
a) 21 linja autobuzi, reze 300m



b) 21 linja autobuzi, reze 500m,



c) 15 linja autobuzi, reze 300m



d) 15 linja autobuzi, rreze 500m

Figura 5.8 Vendosja e gateway duke përdorur vendodhjet e detyrueshme të gateway.

Propozimi jonë për rritjen e mbulimit, reduktimit të kostove dhe uljes së ngarkesës së rrjetit ka sjellë një qasje të suksesshme me anë të algoritmit gjenetik me shumë objektiva për aplikimin në një qytet smart me integrimin e 5G-IoT-VDTN. U testuan disa skenarë me rreze të ndryshme mbulimi të teknologjisë 5G: 300 m, 500 m dhe 1000 m, u vërejt se zgjerimi i rrezes redukton ndjeshëm numrin e gateway-ve të nevojshëm, por me kosto në uljen e balancës së ngarkesës ndërmjet nyjeve gateway. Simulimet në rrjetin real të transportit publik të Tiranës treguan se modeli është i zbatueshëm praktikisht dhe mund të ndihmojë në planifikimin inteligjent të infrastrukturës së komunikimit në qytete urbane me densitet të lartë. Kjo dëshmon vlefshmërinë e integritit të 5G, IoT dhe VDTN në një arkitekturë të vetme për menaxhimin efikas të rrjeteve të transportit dhe komunikimit urban.

## KREU VI

### PËRFUNDIME DHE PUNA NË TË ARDHMEN

Qëllimi i këtij disertacioni ishte zhvillimi i teknikave inteligjente për integrimin e VANET, VDTN me IoT dhe 5G në kontekstin e Smart Cities.

Në fazën fillestare të punës u krye një analizë e thelluar e literaturës për rrjetet VANET, VDTN, IoT dhe 5G, ku u identifikuan boshllëqe të rëndësishme në integrimin e tyre, sidomos në aspektin e komunikimit midis teknologjive heterogjene, menaxhimit të energjisë, mbulimit dhe optimizimit të vendosjes së infrastrukturës fizike. Modelet ekzistuese shpesh fokusohen në një teknologji të vetme ose në dy teknologji në kontekstin e Smart Cities duke mos marrë parasysh ndërveprimin kompleks mes rrjeteve VANET, VDTN, komponentëve IoT dhe 5G. Nga kjo analizë u argumentua nevoja për një qasje të re të bashkërenduar, që të mundësojë komunikim të qëndrueshëm dhe efikas edhe në kushte dinamike të trafikut dhe mjediseve urbane të dendura dhe që ofron shkëmbim të qëndrueshëm informacioni ndërmjet automjeteve, infrastrukturës dhe sensorëve urbanë.

Fokus i këtij punimi ishin adresimi i problemeve që lidhen me mbulimin e rrjetit, përmirësimin e efikasitetin energjetik të dërgimit të të dhënave, dërgimin me prioritet të informacioneve emergjente si dhe optimizimin dhe uljen e kostove të infrastrukturës.

Për këtë, ne kemi realizuar përmirësimin e tre protokolleve të rrugëzimit të rrjeteve tolerante ndaj vonesave në skenare për Smart City. Kemi propozuar dhe vlerësuar me anën e simulimeve një teknikë të integruar të vlerës së energjisë dhe dërgimit me prioritet në rrjetat tolerante ndaj vonesave të aplikuar mbi protokollet e rrugëzimit Epidemic dhe Spray and Wait. Kjo teknikë lejon offloading inteligjent të trafikut tek VDTN, duke shmangur mbingarkesën e rrjetit qendror 5G dhe duke garantuar dërgimin e mesazheve me prioritet pavarësisht nivelit të energjisë së nyjeve.

Gjithashtu, në të njëjtin kontekst kemi propozuar përmirësimin e protokollit P<sub>Ro</sub>PHET duke optimizuar energjinë dhe përdorimin e kapacitetit të buffer-it në një skenar Smart City.

Duke vepruar në nivel mikro të rrjetit, me modifikimin e protokollit P<sub>Ro</sub>PHET, është përshtatur sjellja e çdo nyje në bazë të energjisë së mbetur dhe statusit të buffer-it. Ndërsa në nivel makro, përmes strategjisë së integruar të pragut të energjisë dhe dërgimit me përparësi,

është mundësuar menaxhimi i rrjedhës së trafikut në nivel rrjeti nëpërmjet prioritizimit dinamik të mesazheve dhe energjisë.

Kështu, krijohet një arkitekturë e balancuar, ku PROPHET-i i modifikuar siguron efikasitet në transmetim dhe shmang mbingarkesën lokale të nyjeve me pak energji, ndërsa qasja makro garanton përdorimin inteligjent të burimeve energjetike dhe prioritizimin e informacionit kritik, duke rritur ndjeshëm probabilitetin e dorëzimit të mesazheve. Në këtë mënyrë, rrjeti përshtatet në mënyrë automatike në Smart Cities, dhe protokollet e komunikimit përshtaten në mënyrë dinamike sipas gjendjes së energjisë dhe rëndësisë së informacionit.

Gjithashtu, përveç dy teknikave inteligjente të mësipërme, kemi zhvilluar një model të optimizimit të infrastrukturës 5G me shumë objektiva, i cili merr parasysh kompromiset midis balancimit të ngarkesës së trafikut, optimizimit të mbulueshmërisë, kufizimit të kostove të vendosjes (numrit të gateway) dhe garantimit të mbulimit të plotë të të gjitha stacioneve të autobusëve. Për zgjidhjen e këtij problemi kompleks u përdor algoritmi evolucionar NSGA-II, i cili u adaptua për të trajtuar karakteristikat e veçanta të rrjeteve 5G-IoT-VDTN. Rezultatet treguan se NSGA-II mund të gjenerojë Frontin Pareto me zgjidhje të balancuara, duke ofruar fleksibilitet në zgjedhjen e konfigurimeve më të përshtatshme sipas kushteve të rrjetit.

Simulimet e kryera në rrjetin urban të Tiranës përfshinë dy raste, rasti i parë me 21 linja autobusi me 267 ndalesa, të modeluara si pika kandidate për vendosjen e gateway-ve dhe rasti i dytë me 15 linja autobusi dhe 165 stacione. U analizuan tre skenarë me rreze komunikimi prej 300 m, 500 m dhe 1000 m, të cilat përfaqësojnë nivele të ndryshme të frekuencave 5G (mmWave dhe mid-band).

Rezultatet treguan se modelet me rreze më të shkurtër arrijnë mbulim më të lartë dhe lidhje më të qëndrueshme, ndërsa modelet me rreze më të gjatë (1000 metra) janë më efikase në aspektin e kostos, por sollën imbalanca në ngarkesë. Konfigurimi me rreze 500m paraqet një zgjidhje të balancuar midis kostos, mbulimit dhe efikasitetit të ngarkesës. Gjithashtu, reduktimi i zonës së studimit nga 21 në 15 linja autobusësh përmirësoi efikasitetin e optimizimit duke përqendruar vendosjen e gateway-ve në zonat urbane me dendësi të lartë, duke rritur balancimin e ngarkesës pa ndikuar në mbulueshmëri. Rezultatet e simulimit treguan se për 21 linja autobusësh, 267 stacione, rrezja e portës prej 500 m, 67 porta mbulojnë 47.4 km<sup>2</sup> (0.71 km<sup>2</sup>/portë) dhe standard prej 1.71.

Për 15 linja autobusësh, 165 stacione, rrezja prej 1000 m, balancimi i ngarkesës u përmirësua në 2.98 km<sup>2</sup>/portë me një standard prej 2.51.

Përzgjedhja e disa stacioneve kryesore të autobusëve si lokacione të detyrueshme për gateways optimizoi më tej vendosjen, duke ulur numrin total të gateways me 2-12%, duke ruajtur mbulimin dhe duke përshpejtuar konvergjencën e algoritmit gjenetik.

Puna e zhvilluar kontribuon si në aspektin teorik, përmes modelit të përgjithshëm të optimizimit dhe formulimit matematikor të problemit, ashtu edhe në aspektin praktik, duke ofruar një metodologji të aplikueshme për planifikimin real të infrastrukturës në Smart Cities.

### **Puna në të ardhmen**

Puna në të ardhmen do të përqendrohet në zgjerimin dhe thellimin e rezultateve të arritura në këtë disertacion, duke u fokusuar në disa drejtime kryesore:

- Zhvillimi i protokolleve të reja adaptive, të afta të përshtaten në mënyrë dinamike me ndryshimet e kushteve të rrjetit, ngarkesën e trafikut dhe nivelet e energjisë së nyjeve, me synim rritjen e qëndrueshmërisë dhe efikasitetit të komunikimit.
- Zgjerimi i sistemit të propozuar të bazuar në NSGA-II përmes përfshirjes së kufizimeve reale të mjedisit, si p.sh. zbehja e sinjalit, ndërhyrjet elektromagnetike dhe kostot e ndryshueshme të vendosjes për secilin gateway, në mënyrë që modeli të pasqyrojë më saktë kushtet reale të implementimit urban.
- Zhvillimi i një platforme “Digital Twin” për një rrjet transporti urban, si p.sh. ai i Tiranës, që do të integrojë komponentët 5G, rrjedhën e trafikut dhe lëvizjen e automjeteve. Kjo platformë do të mundësojë simulime më të avancuara dhe testim virtual të arkitekturës së propozuar, pa pasur nevojë për ndërhyrje fizike, duke ofruar një mjedis të sigurt për analizë dhe verifikim.
- Realizimi i një prototipi fizik në kushte reale, duke përdorur pajisje kompakte dhe me konsum të ulët energjie si Raspberry Pi, për të testuar performancën e algoritmeve dhe protokolleve në një mjedis operacional.
- Me zhvillimin e teknologjive B5G dhe 6G, kërkimet e ardhshme do të orientohen drejt përdorimit të inteligjencës artificiale për vetë-optimizimin e rrjetit në kohë reale, teknologjive blockchain për sigurimin dhe integritetin e të dhënave, si dhe duke synuar krijimin e një infrastrukture plotësisht inteligjente dhe autonome për qytetet e së ardhmes.

## Lista e publikimeve

### Revista

1. **Jaupi, O.**, & Spaho, E. (2025). *A Systematic Literature Review on Integrating VANETs, VDTNs, 5G, and IoT for Smart Cities: Current Approaches, Challenges, and Future Directions*. **Journal of Transactions in Systems Engineering**, 3(3), 420–448. <https://doi.org/10.15157/JTSE.2025.3.3.420-448>
2. Hako, R., **Jaupi, O.**, & Spaho, E. (2025). *A Multi-Objective GA Approach for Optimizing Gateway Placement in a 5G-Enabled Vehicular Delay-Tolerant Smart City Transportation Network*. **International Journal of Web and Grid Services**, 21(2). <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2025.10071873>
3. Spaho, E., **Jaupi, O.**, Toplana, K., & Ilnica, A. (2025). *A Modified PROPHET Protocol for Energy and Buffer Optimization in Delay Tolerant Networks: Performance Evaluation for an IoT Smart City Scenario*. **International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences**, 8(3), 687–706. <https://doi.org/10.15157/IJITIS.2025.8.3.687-706>
4. Agastra, E., & **Jaupi, O.** (2023). *X-Band CW Doppler Radar, An Analysis and Practical Evaluation*. **Albanian Journal of Natural and Technical Science (AJNTS)**, No. 57 / 2023 (XXVIII), 5–13.

### Konferenca

1. Spaho, E., & **Jaupi, O.** (2025). *A Framework for Integrating 5G and Vehicular Delay Tolerant Networks in Smart Cities*. In *Proceedings of the 39th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2025)*, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol. 252, **Barcelona, Spain**. Springer, Cham.
2. Spaho, E., **Jaupi, O.** & Cala, A (2024). *Implementation of a Low-Cost and Intelligent Driver Monitoring System for Engine Locking in the Presence of Alcohol Detection or Drowsiness in Drivers*. In *Proceedings of the 12th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT 2024)*, **Naples, Italy**.

3. Spaho, E., & **Jaupi, O.** (2024). *Application of Soft Computing Techniques for Clustering in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey*. In *Proceedings of the 38th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2024)*, Vol. 203, Article 1, pp. 1–11. **Kitakyushu, Japan.**
4. **Jaupi, O.**, & Spaho, E. (2023). *VANET-Radar Integration: Challenges and Strategies for Issue Mitigation*. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technologies and Educational Engineering (ICITEE 2023)*, pp. 51–55. **Tirana, Albania.** ISBN 978-9-92-880528-7.
5. Spaho, E., **Jaupi, O.**, Muso, F., Shehu, E., Kanani, E., & Zeqiraj, F. (2023). *An Integrated Energy Threshold and Priority Forwarding Approach to Improve Delivery Probability in Delay Tolerant Networks*. In *Advances on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC 2023)*, **Daegu, South Korea.** Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol. 189, pp. 174–183. Springer, Cham.

## Bibliografia

- [1] Jaupi, O., & Spaho, E. (2025). A Systematic Literature Review on Integrating VANETs, VDTNs, 5G, and IoT for Smart Cities: Current Approaches, Challenges, and Future Directions. *Journal of Transactions in Systems Engineering*, 3(3), 420–448.  
<https://doi.org/10.15157/JTSE.2025.3.3.420-448>
- [2] Pawar, V.; Zade, N.; Vora, D.; Khairnar, V.; Oliveira, A.M.; Kotecha, K.; Kulkarni, A. Intelligent Transportation System with 5G Vehicle-to-Everything (V2X): Architectures, Vehicular Use Cases, Emergency Vehicles, Current Challenges, and Future Directions. *IEEE Access* 2024, 12, 183937–183960.
- [3] Balen, J.; Tomasic, B.; Semialjac, K.; Varga, H. Survey on Using 5G Technology in VANETs. In *Proceedings of the 2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2022; pp. 442–448
- [4] Benamar, N.; Benamar, M.; Ahnana, S.; Saiyari, F.Z.; El Ouadghiri, D.; et al. Are VDTN Routing Protocols Suitable for Data Collection in Smart Cities: A Performance Assessment. *J. Theor. Appl. Inf. Technol.* 2013, 58, 589–600.
- [5] Minoli, D.; Occhiogrosso, B. Practical Aspects for the Integration of 5G Networks and IoT Applications in Smart Cities Environments. *Wirel. Commun. Mob. Comput.* 2019, 2019, 5710834.
- [6] Spaho, E.; Jaupi, O. A Framework for Integrating 5G and Vehicular Delay Tolerant Networks in Smart Cities. In *Advanced Information Networking and Applications (AINA 2025)*; Barolli, L., Ed.; *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 252; Springer: Cham, Switzerland, 2025; pp. 95–110.

[7] M. S. Anwer and C. Guy, “A Survey of VANET Technologies,” *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, vol. 5, no. 9, pp. 661–671, Sept. 2014.

[8] RadhaKrishna Karne, T.K. Sreeja, “Review on VANET Architecture and Applications”, *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, Vol. 12 No. 04, 2021, pp. 1745–1749

[9] Ankur Jain, Ratnesh Dubey, Vineet Richariya, “Vehicular Adhoc Network – Architecture and Operations”, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 5, Issue 9, September 2016, Art. 68, pp. 323–326.

[10] Ajit Singh, Mukesh Kumar, Rahul Rishi, and D.K. Madan, “A Relative Study of MANET and VANET: Its Applications, Broadcasting Approaches and Challenging Issues,” in *Communications in Computer and Information Science (CCIS)*, vol. 132, Part II, N. Meghanathan et al. (Eds.), Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 627–632. doi:10.1007/978-3-642-17878-8\_63.

[11] José Santa, Antonio F. Gómez-Skarmeta, Marc Sánchez-Artigas, “Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks”, *Computer Communications*, Vol. 31, Issue 12, August 2008, pp. 2850–2861

[12] Chandrashekhar M. Raut, Satish R. Devane, “Intelligent Transportation System for Smartcity using VANET”, *Proceedings of the International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, April 6–8, 2017, India, IEEE, pp. 1602–1605.

[13] Spaho, E., & Jaupi, O. (2024). Implementation of a Low-Cost and Intelligent Driver Monitoring System for Engine Locking in the Presence of Alcohol Detection or Drowsiness in Drivers. To appear in *Proceedings of the 12th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT 2024)*, Porto, Portugal.

[14] Spaho, E., & Jaupi, O. (2024). Application of Soft Computing Techniques for Clustering in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey. In *Proceedings of the 38th International Conference on*

Advanced Information Networking and Applications (AINA 2024), Vol. 203, Article 1, pp. 1–11. Kitakyushu, Japan.

[15] Jaupi, O., & Spaho, E. (2023). VANET-Radar Integration: Challenges and Strategies for Issue Mitigation. In Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technologies and Educational Engineering (ICITEE 2023), pp. 51–55. Tirana, Albania. ISBN 978-9-92-880528-7.

[16] Krause, P.: Fuzzy logic for the management of uncertainty edited by Lotfi Zadeh and Janusz Kacprzyk, John Wiley & Sons, New York (1992), pp. 1–676 (1995). ISBN 0-471-54799-9. The Knowledge Engineering Review 10(1), 101–101. <https://doi.org/10.1017/S02698889000734711>

[17] Oзера, K., Bylykbashi, K., Liu, Y., Ikeda, M., Barolli, L.: Clustering in VANETs: a fuzzybased system for clustering of vehicles. In: Barolli, L., Kryvinska, N., Enokido, T., Takizawa, M. (eds.) Advances in Network-Based Information Systems. NBiS 2018. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol. 22, pp. 810–821. Springer, Cham (2019). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98530-5\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98530-5_72)

[18] Aissa, M., Bouhdid, B., Ben Mnaouer, A., Belghith, A., AlAhmadi, S.: SOFCluster: safetyoriented, fuzzy logic-based clustering scheme for vehicular ad hoc networks. Trans. Emerg. Telecommun. Technol. 33 (2022). <https://doi.org/10.1002/ett.3951>

[19] Tal, I., Muntean, G.-M.: User-oriented fuzzy logic-based clustering scheme for vehicular adhoc networks. In: 2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Dresden, Germany, pp. 1–5 (2013). <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2013.6692801>

[20] Çalhan, A.: A fuzzy logic-based clustering strategy for improving vehicular ad-hoc network performance. Sadhana 40, 351–367 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12046-014-0315-9>

- [21] Hafeez, K.A., Zhao, L., Liao, Z., Ma, B.N.-W.: A fuzzy-logic-based cluster head selection algorithm in VANETs. In: 2012 IEEE International Conference on Communications (ICC), Ottawa, ON, Canada, pp. 203–207 (2012). <https://doi.org/10.1109/ICC.2012.6363839>
- [22] Abdel-Basset, M., Abdel-Fatah, L., Sangaiah, A.K.: Metaheuristic Algorithms: A Comprehensive Review. In: Sangaiah, A.K., Sheng, M., Zhang, Z. (eds.) In Intelligent Data-Centric Systems, Computational Intelligence for Multimedia Big Data on the Cloud with Engineering Applications, pp. 185–231. Academic Press (2018). ISBN 9780128133149. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813314-9.00010-4>
- [23] Ahsan, W., et al.: Optimized node clustering in VANETs by using meta-heuristic algorithms. Electronics 9, 394 (2020). <https://doi.org/10.3390/electronics9030394>
- [24] Shah, Y.A., Habib, H.A., Aadil, F., Khan, M.F., Maqsood, M., Nawaz, T.: CAMONET: mothflame optimization (MFO) based clustering algorithm for VANETs. IEEE Access 6, 48611–48624 (2018). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868118>
- [25] Shah, Y.A., et al.: An evolutionary algorithm-based vehicular clustering technique for VANETs. IEEE Access 10, 14368–14385 (2022). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3145905>
- [26] Husnain, G., et al.: An intelligent harris hawks optimization based cluster optimization scheme for VANETs. J. Sens. 2022, Article ID 6790082, 15 p (2022). <https://doi.org/10.1155/2022/6790082>
- [27] Goswami, V., Verma, S.K., Singh, V.: A novel hybrid GA-ACO based clustering algorithm for VANET. In: 2017 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication & Automation (ICACCA) (Fall), Dehradun, India, pp. 1–6 (2017). <https://doi.org/10.1109/ICACCAF.2017.8344740>

- [28] Joshua, C.J., Duraisamy, R., Varadarajan, V.: A reputation based weighted clustering protocol in VANET: a multi-objective firefly approach. *Mobile Netw. Appl.* 24, 1199–1209 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11036-019-01257-z>
- [29] Ayyub, M., Oracevic, A., Hussain, R., Khan, A.A., Zhang, Z.: A comprehensive survey on clustering in vehicular networks: current solutions and future challenges. *Ad Hoc Netw.* 124, 102729 (2022). ISSN 1570-8705. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102729>
- [30] Alsuhli, G.H., Khattab, A., Fahmy, Y.A., Massoud, Y.: Enhanced urban clustering in VANETs using online machine learning. In: 2019 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), Cairo, Egypt, pp. 1–6 (2019). <https://doi.org/10.1109/ICVES.2019.8906296>
- [31] Zhang, R., Wu, K.: A new dynamic clustering scheme for VANETs driven by deep reinforcement learning. In: Proceedings of SPIE 12636, Third International Conference on Machine Learning and Computer Application (ICMLCA 2022), p. 1263611 (2023). <https://doi.org/10.1117/12.2675347>
- [32] Abdulrazzak, H.N., Hock, G.C., Radzi, N.A.M., Tan, N.M.L.: A new unsupervised validation index model suitable for energy-efficient clustering techniques in VANET. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3281302>
- [33] Koshimizu, T., Gengtian, S., Wang, H., Pan, Z., Liu, J., Shimamoto, S.: Multi-dimensional affinity propagation clustering applying a machine learning in 5G-cellular V2X. *IEEE Access* 8, 94560–94574 (2020). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2994132>
- [34] Saleem, M.A., et al.: Deep learning-based dynamic stable cluster head selection in VANET. *J. Adv. Transp.* 2021, Article ID 9936299, 21 p (2021). <https://doi.org/10.1155/2021/9936299>

- [35] M. Alhumaidi and M. Wintermantel, "Interference Avoidance and Mitigation in Automotive Radar," 2020 17th European Radar Conference (EuRAD), Utrecht, Netherlands, 2021, pp. 172-175, doi: 10.1109/EuRAD48048.2021.00053.
- [36] M. Zhang, Sh. He, Ch. Yang, J. Chen, and J. Zhang " VANET-Assisted Interference Mitigation for Millimeter-Wave Automotive Radar Sensors", 2020 IEEE, vol. 34, no. 2, pp. 238-245, doi: 0.1109/MNET.001.1900271
- [37] M. Rameez, M. Dahl, and M. I. Pettersson. "Adaptive digital beamforming for interference suppression in automotive FMCW radars In 2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18), pp. 252-256, doi: 10.1109/MSP.2019.2911722.
- [38] G. Hakobyan and B. Yang, "High-Performance Automotive Radar: A review of signal processing algorithms and modulation schemes" IEEE Signal Processing Magazine, vol. 36, no. 5, pp. 32-44, 2019, doi:10.1109/MSP.2019.2911722
- [39]A. Bose, M. Soltanian, J. Li, "Mutual Interference Mitigation for Multiple Connected" IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 70, No. 10, 2021, doi: 10.1109/TVT.2021.3108714.
- [40] P. Liu, Y. Liu, T. Huang; Y. Lu, X. Wang, "Decentralized Automotive Radar Spectrum Allocation to Avoid Mutual Interference Using Reinforcement Learning", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 57, Issue. 1, 2021, pp. 190-205, doi: 10.1109/TAES.2020.3011869
- [41] C. Waldschmidt, J. Hasch, W. Menzel, "Automotive Radar - From First Efforts to Future Systems", IEEE Journal of Microwaves, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 135-148, doi:10.1109/JMW.2020.3033616

- [42] Nabil Benamar, Kamal D. Singh, Maria Benamar, Driss El Ouadghiri, Jean-Marie Bonnin, “Routing Protocols in Vehicular Delay Tolerant Networks: A Comprehensive Survey”, *Computer Communications*, Vol. 48 Issue 7, March 2014, pg. 141-158
- [43] Spaho, E., Dhoska, K., Barolli, L., Kolici, V., Takizawa, M. (2020). Enhancement of Binary Spray and Wait Routing Protocol for Improving Delivery Probability and Latency in a Delay Tolerant Network. In: Barolli, L., Hellinckx, P., Enokido, T. (eds) *Advances on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications. BWCCA 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 97. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33506-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33506-9_10)
- [44] Gandhi, S. B., Pandya, V. N., & Vaghela, K. G. (2016). A Survey on Performance Analysis of Different Routing Protocols in VDTN. *International Journal of Science Technology & Engineering (IJSTE)*, 2(11), 347–353. ISSN 2349-784X. Retrieved from [www.ijste.org](http://www.ijste.org)
- [45] Spaho, E., Dhoska, K., Bylykbashi, K., Barolli, L., Kolici, V., Takizawa, M. (2019). Performance Evaluation of Routing Protocols in DTNs Considering Different Mobility Models. In: Barolli, L., Takizawa, M., Xhafa, F., Enokido, T. (eds) *Web, Artificial Intelligence and Network Applications. WAINA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 927. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15035-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15035-8_19)
- [46] Quy, V.K.; Nam, V.H.; Linh, D.M.; et al. Communication Solutions for Vehicle Ad-hoc Network in Smart Cities Environment: A Comprehensive Survey. *Wirel. Pers. Commun.* 2022, 122, 2791–2815.
- [47] Tahir, M.N.; Leviäkangas, P.; Katz, M. Connected Vehicles: V2V and V2I Road Weather and Traffic Communication Using Cellular Technologies. *Sensors* 2022, 22, 1142.
- [48] Gohar, A.; Nencioni, G. The Role of 5G Technologies in a Smart City: The Case for Intelligent Transportation System. *Sustainability* 2021, 13, 5188.

- [49] Ferro-Escobar, R.; Vacca-González, H.; Gómez-Castillo, H. Smart and Sustainable Cities in Collaboration with IoT: The Singapore Success Case. In *Machine Learning for Smart Environments/Cities*; Marques, G., González-Briones, A., Molina López, J.M., Eds.; Intelligent Systems Reference Library, vol. 121; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 279–296.
- [50] Minani, J.B.; Sabir, F.; Moha, N.; Guéhéneuc, Y.-G. A Systematic Review of IoT Systems Testing: Objectives, Approaches, Tools, and Challenges. *IEEE Trans. Softw. Eng.* 2024
- [51] Wijonarko, D.; Arifin, S.; Faisal, M.; Pratama, M.N.; Priambodo, O.N.; Nugraha, E.S. Mobile Ad-Hoc Network (MANET) Method: Some Trends and Open Issues. *Recent Eng. Sci. Technol.* 2025, 3, 49–74.
- [52] Kalodanis, K.; Papapavlou, C.; Feretzakis, G. Enhancing Security in 5G and Future 6G Networks: Machine Learning Approaches for Adaptive Intrusion Detection and Prevention. *Future Internet* 2025, 17, 312.
- [53] Taveras Cruz, A.J.; Aybar-Mejía, M.; Díaz Roque, Y.; Ramírez, K.C.; Durán, J.G.; Weeks, D.R.; Mariano-Hernández, D.; Hernández-Callejo, L. Implications of 5G Technology in the Management of Power Microgrids: A Review of the Literature. *Energies* 2023, 16, 2020.
- [54] Magar, H.; Ubale, A.S.; Rajule, N.; Gupta, R.R.; Philip, V. Case Studies and Real-World Deployment Examples of VANETs. In *Deep Learning Based Solutions for Vehicular Adhoc Networks*; Bhatia, J., Tanwar, S., Rodrigues, J.J.P.C., Kumhar, M., Eds.; *Studies in Computational Intelligence*, vol. 1207; Springer: Singapore, 2025; pp. 215–230.
- [55] Xu, Y.; Chen, X.; Liu, A.; Hu, C. A Latency and Coverage Optimized Data Collection Scheme for Smart Cities Based on Vehicular Ad-hoc Networks. *Sensors* 2017, 17, 888.
- [56] Sumit; Chhillar, R.S.; Dalal, S.; et al. A Dynamic and Optimized Routing Approach for VANET Communication in Smart Cities via a Chaotic Multi-Verse Optimization Algorithm. *Clust. Comput.* 2024, 27, 7023–7048.

- [57] Wang, M.; Mao, J.; Zhao, W.; et al. Smart City Transportation: A VANET Edge Computing Model to Minimize Latency and Delay Utilizing 5G Network. *J. Grid Comput.* 2024, 22, 25.
- [58] Indra, N.E.R.; Singh, K.D.; Bonnin, J.-M. DC4LED: A Hierarchical VDTN Routing for Data Collection in Smart Cities. In *Proceedings of the 2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2019*; pp. 1–4.
- [59] Bylykbashi, K.; Spaho, E.; Barolli, L.; Xhafa, F. Routing in a Many-to-One Communication Scenario in a Realistic VDTN. *J. High Speed Netw.* 2018, 24, 107–118.
- [60] Syed, A.S.; Sierra-Sosa, D.; Kumar, A.; Elmaghraby, A. IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges. *Smart Cities* 2021, 4, 429–475.
- [61] Al-Farouni, M.; Budhani, S.K.; Kaur, J.; Suvonova, L.; Kumar, M.; Bhatt, J. 5G-Vanet with Edge Technology: Cooperative Data Transmission. In *Proceedings of the 2024 International Conference on Communication, Computing and Energy Efficient Technologies (I3CEET), Gautam Buddha Nagar, India, 2024*; pp. 1539–1544
- [62] Zhou, S.; Wei, C.; Song, C.; Pan, X.; Chang, W.; Yang, L. Short-Term Traffic Flow Prediction of the Smart City Using 5G Internet of Vehicles Based on Edge Computing. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2023, 24, 2229–2238
- [63] Khoukhi, L.; Xiong, H.; Kumari, S.; et al. The Internet of Vehicles and Smart Cities. *Ann. Telecommun.* 2021, 76, 545–546
- [64] Shehab, M.J.; Kassem, I.; Kutty, A.A.; Kucukvar, M.; Onat, N.; Khattab, T. 5G Networks Towards Smart and Sustainable Cities: A Review of Recent Developments, Applications and Future Perspectives. *IEEE Access* 2022, 10, 2987–3006
- [65] Yu, M. Construction of Regional Intelligent Transportation System in Smart City Road Network via 5G Network. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2023, 24, 2208–2216.

- [66] Quy, V.K.; Chehri, A.; Quy, N.M.; Nguyen, V.-H.; Ban, N.T. An Efficient Routing Algorithm for Self-Organizing Networks in 5G-Based Intelligent Transportation Systems. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2024, 70, 1757–1765.
- [67] Raj, R.; Kumar, A.; Mandloi, A.; Pal, R. Applications of Machine Learning and 5G New Radio Vehicle-to-Everything Communication in Smart Cities. In *Internet of Everything for Smart City and Smart Healthcare Applications*; Gupta, N., Mishra, S., Eds.; Signals and Communication Technology; Springer: Cham, Switzerland, 2024; pp. 75–92.
- [68] M. J. Shehab, I. Kassem, A. A. Kutty, M. Kucukvar, N. Onat and T. Khattab, "5G Networks Towards Smart and Sustainable Cities: A Review of Recent Developments, Applications and Future Perspectives," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 2987-3006, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3139436
- [69] Gohar, Ali, and Gianfranco Nencioni. 2021. "The Role of 5G Technologies in a Smart City: The Case for Intelligent Transportation System" *Sustainability* 13, no. 9: 5188. <https://doi.org/10.3390/su13095188>
- [70] E. Spaho, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, M. Younas and M. Takizawa, "Performance Evaluation of OLSR and AODV Protocols in a VANET Crossroad Scenario," 2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), Barcelona, Spain, 2013, pp. 577-582, doi: 10.1109/AINA.2013.111
- [71] L. -M. Ang, K. P. Seng, G. K. Ijamaru and A. M. Zungeru, "Deployment of IoV for Smart Cities: Applications, Architecture, and Challenges," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 6473-6492, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2887076.
- [72] Marinescu, I.; Dumitrescu, E. Enhancing Smart City Ecosystems through 5G Technologies: security, predictive maintenance, and network optimization challenges and opportunities”, *IJDI*, Vol. 8, No. 6, pp. 1–20, Jun. 2024.

- [73] E. Spaho, L. Barolli, V. Kolici and A. Lala, "Evaluation of Single-Copy and Multiple-Copy Routing Protocols in a Realistic VDTN Scenario," 2016 10th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS), Fukuoka, Japan, 2016, pp. 284-289, doi: 10.1109/CISIS.2016.43
- [74] K. Bylykbashi, E. Spaho, L. Barolli, F. Xhafa, 'Routing in a Many-to-one Communication Scenario in a Realistic VDTN'. vol. 24, no. 2, pp. 107-118, 2018, doi: 10.3233/JHS-180584
- [75] Chhabra, S., Aiden, M.K., Sabharwal, S.M., Al-Asadi, M. (2023). 5G and 6G Technologies for Smart City. In: Ahad, M.A., Casalino, G., Bhushan, B. (eds) Enabling Technologies for Effective Planning and Management in Sustainable Smart Cities. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22922-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22922-0_14)
- [76] Alahi, M.E.E.; Sukkuea, A.; Tina, F.W.; Nag, A.; Kurdthongmee, W.; Suwannarat, K.; Mukhopadhyay, S.C. Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends. *Sensors* 2023, 23, 5206. <https://doi.org/10.3390/s23115206>
- [77] Evjola Spaho, Usage of DTNs for low-cost IoT application in smart cities: performance evaluation of spray and wait routing protocol and its enhanced versions, *International Journal of Grid and Utility Computing (IJGUC)*, Vol. 12, No. 2, pp. 173-177, 2021, <https://doi.org/10.1504/IJGUC.2021.114816>
- [78] Muhammad Usman, Muhammad Rizwan Asghar, Fabrizio Granelli, and Khalid Qaraqe. 2018. Integrating smart city applications in 5G networks. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Future Networks and Distributed Systems (ICFNDS '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 2, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3231053.3231055>

- [79] Chen Yang, Peng Liang, Liming Fu, Guorui Cui, Fei Huang, Feng Teng, Yawar Abbas Bangash, Using 5G in smart cities: A systematic mapping study, *Intelligent Systems with Applications*, Volume 14, 2022, 200065, ISSN 2667-3053, <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200065>
- [80] Alhilal, A.Y.; Finley, B.; Braud, T.; Su, D.; Hui, P. Street Smart in 5G: Vehicular Applications, Communication, and Computing. *IEEE Access* 2022, 10, 105631–105653.
- [81] Farooqi, A.M.; Alam, M.A.; Hassan, S.I.; Idrees, S.M. A Fog Computing Model for VANET to Reduce Latency and Delay Using 5G Network in Smart City Transportation. *Appl. Sci.* 2022, 12, 2083.
- [82] Tal, I.; Muntean, G.-M. Clustering and 5G-Enabled Smart Cities: A Survey of Clustering Schemes in VANETs. In *Research Anthology on Developing and Optimizing 5G Networks and the Impact on Society*; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2021; pp. 1012–1050.
- [83] Wang, J.; Topilin, I.; Feofilova, A.; Shao, M.; Wang, Y. Cooperative Intelligent Transport Systems: The Impact of C-V2X Communication Technologies on Road Safety and Traffic Efficiency. *Sensors* 2025, 25, 2132.
- [84] Mishra, P.; Singh, G. Internet of Vehicles for Sustainable Smart Cities: Opportunities, Issues, and Challenges. *Smart Cities* 2025, 8, 93.
- [85] Mahi, M.J.N.; Chaki, S.; Ahmed, S.; Biswas, M.; Kaiser, M.S.; Islam, M.S.; Sookhak, M.; Barros, A.; Whaiduzzaman, M. A Review on VANET Research: Perspective of Recent Emerging Technologies. *IEEE Access* 2022, 10, 65760–65793.
- [86] Suciu, G.; Beceanu, C.; Hussain, I.; Vatasoiu, R.-I.; Esanu, I.A.; Vochin, M.-C. Role of 5G in Vehicular Network for Smart Vehicles in Smart Cities. In *Proceedings of the 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*; IEEE: Bucharest, Romania, 2021; pp. 231–236.

- [87] Mahomed, A.S.; Saha, A.K. Unleashing the Potential of 5G for Smart Cities: A Focus on Real-Time Digital Twin Integration. *Smart Cities* 2025, 8, 70
- [88] Szpilko, D.; Fernando, X.; Nica, E.; Budna, K.; Rzepka, A.; Lăzăroiu, G. Energy in Smart Cities: Technological Trends and Prospects. *Energies* 2024, 17, 6439.
- [89] Reis, M.J.C.S. AI-Driven Anomaly Detection for Securing IoT Devices in 5G-Enabled Smart Cities. *Electronics* 2025, 14, 2492.
- [90] Zreikat, A.I.; AlArnaout, Z.; Abadleh, A.; Elbasi, E.; Mostafa, N. The Integration of the Internet of Things (IoT) Applications into 5G Networks: A Review and Analysis. *Computers* 2025, 14, 250.
- [91] Ogbodo, E.U.; Abu-Mahfouz, A.M.; Kurien, A.M. A Survey on 5G and LPWAN-IoT for Improved Smart Cities and Remote Area Applications: From the Aspect of Architecture and Security. *Sensors* 2022, 22, 6313.
- [92] Huseien, G.F.; Shah, K.W. Potential Applications of 5G Network Technology for Climate Change Control: A Scoping Review of Singapore. *Sustainability* 2021, 13, 9720.
- [93] Uko, M.; Ekpo, S.C.; Enahoro, S.; Elias, F. Performance Optimization of 5G–Satellite Integrated Networks for IoT Applications in Smart Cities: A Two-Ray Propagation Model Approach. *Smart Cities* 2024, 7, 3895–3913.
- [94] Trakadas, P.; Nomikos, N.; Michailidis, E.T.; Zahariadis, T.; Facca, F.M.; Breitgand, D.; Rizou, S.; Masip, X.; Gkonis, P. Hybrid Clouds for Data-Intensive, 5G-Enabled IoT Applications: An Overview, Key Issues and Relevant Architecture. *Sensors* 2019, 19, 3591.

- [95] Hayes, M.; Omar, T. End-to-End VANET/IoT Communications: A 5G Smart Cities Case Study Approach. In Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST), Woburn, MA, USA, 2019; pp. 1–5.
- [96] Guevara, L.; Auat Cheein, F. The Role of 5G Technologies: Challenges in Smart Cities and Intelligent Transportation Systems. *Sustainability* 2020, 12, 6469.
- [97] Gupta, N.; Manaswini, R.; Saikrishna, B.; Silva, F.; Teles, A. Authentication-Based Secure Data Dissemination Protocol and Framework for 5G-Enabled VANET. *Future Internet* 2020, 12, 63.
- [98] Liang, L.; Qin, J.; Jiang, P.; Chen, Z.; Jia, Y. An Online Adjustment Based Node Placement Mechanism for the NFV-Enabled MEC Network. *Mob. Netw. Appl.* 2022, 27, 1490–1505.
- [99] Khan, U.A.; Lee, S.S. Multi-Layer Problems and Solutions in VANETs: A Review. *Electronics* 2019, 8, 204. <https://doi.org/10.3390/electronics8020204>
- [100] Spaho, E., Jaupi, O., Toplana, K., & Ilnica, A. (2025). A Modified PROPHET Protocol for Energy and Buffer Optimization in Delay Tolerant Networks: Performance Evaluation for an IoT Smart City Scenario. *International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences*, 8(3), 687–706. <https://doi.org/10.1515/IJTIS.2025.8.3.687-706>
- [101] Spaho, E., Jaupi, O., Muso, F., Shehu, E., Kanani, E., & Zeqiraj, F. (2023). An Integrated Energy Threshold and Priority Forwarding Approach to Improve Delivery Probability in Delay Tolerant Networks. In *Advances on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC 2023)*, Antwerp, Belgium.
- [102] A. Vahdat, D. Becker “Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks,” Technical Report CS-200006, Duke University, April 2000.

- [103] T. Spyropoulos, K. Psounis, C.S. Raghavendra, “Spray and Wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks,” In Proceedings of ACM SIGCOMM 2005 Workshop on Delay Tolerant Networking and Related Networks (WDTN-05), Philadelphia, PA, USA, pp. 252-259, 2005.
- [104] K. Fall, “A delay-tolerant network architecture for challenged Internets,” in Proceedings of the International Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, ser. SIGCOMM-03, 2003, pp. 2734.
- [105] A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, S. Grasic, “Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks,” draft-irtf-dtnrg-prophet-09. ([http:// tools.ietf.org/html/draft- irtf-dtnrg-prophet-09](http://tools.ietf.org/html/draft-irtf-dtnrg-prophet-09)).
- [106] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine, “Maxprop: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks” in Proceedings of the IEEE Infocom, April 2006.
- [107] A. Mallorquí, A. Zaballos and D. Serra, ”A Delay-Tolerant Network for Antarctica,” in IEEE Communications Magazine, vol. 60, no. 12, pp. 56-62, December 2022, doi: 10.1109/MCOM.007.2200147
- [108] Koukis, G.; Safouri, K.; Tsaoussidis, V. (2024) All about Delay-Tolerant Networking (DTN) Contributions to Future Internet. Future Internet 2024, 16, 129. <https://doi.org/10.3390/fi16040129>
- [109] Perumal, S., Raman, V., Samy, G.N. et al. Comprehensive literature review on delay tolerant network (DTN) framework for improving the efficiency of internet connection in rural regions of Malaysia. Int J Syst Assur Eng Manag 13 (Suppl 1), 764–777 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13198-022-01632-2>

- [110] Gandhi, J., Narmawala, Z. A case study on the estimation of sensor data generation in smart cities and the role of opportunistic networks in sensor data collection. *Peer-to-Peer Netw. Appl.* 17, 337–357 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12083-023-01607-5>
- [111] Triadi, M. B., Perdana, D., Munadi, R., & Wenzao, L. (2019). A New Variant of Game Theory Based Decision Making (GTDM) Algorithm Routing Protocols to Improve Energy Efficiency on Vehicular Delay Tolerant Network (VDTN). *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, 11(1). <https://doi.org/10.17762/ijcnis.v11i1.4078>
- [112] V. Demiroglou, L. Mamatras and V. Tsaoussidis, "Adaptive NDN, DTN and NoD Deployment in Smart-City Networks Using SDN," 2023 IEEE 20th Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2023, pp. 1092-1097, doi: 10.1109/CNC51644.2023.10060803.
- [113] Lindgren, A., Doria, A., Schelén, O. (2004). Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks. In: Dini, P., Lorenz, P., de Souza, J.N. (eds) *Service Assurance with Partial and Intermittent Resources. SAPIR 2004. Lecture Notes in Computer Science*, vol 3126. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-27767-524>
- [114] Shah, I.A., Ahmed, M. An Optimized Load Balancing Probabilistic Protocol for Delay Tolerant Networks. *SN COMPUT. SCI.* 6, 140 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42979-025-03681-3>
- [115] Spaho, E., Dhoska, K., Bylykbashi, K., Barolli, L., Kolici, V., Takizawa, M. (2019). Performance Evaluation of Energy Consumption for Different DTN Routing Protocols. In: Barolli, L., Kryvinska, N., Enokido, T., Takizawa, M. (eds) *Advances in Network-Based Information Systems. NBIS 2018. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 22. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-98530-511>

- [116] Spaho, E., Dhoska, K., Bylykbashi, K., Barolli, L., Kolicic, V., Takizawa, M. (2019). Performance Evaluation of Routing Protocols in DTNs Considering Different Mobility Models. In: Barolli, L., Takizawa, M., Xhafa, F., Enokido, T. (eds) Web, Artificial Intelligence and Network Applications. WAINA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 927. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15035-819>
- [117] Spaho, E., Jaupi, O., Muso, F., Shehu, E., Kanani, E., Zeqiraj, F. (2024). An Integrated Energy Threshold and Priority Forwarding Approach to Improve Delivery Probability in Delay Tolerant Networks. In: Barolli, L. (eds) Advances on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing. 3PGCIC 2023. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 189. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-46970-116>
- [118] Spaho, E.; (2020) Energy consumption analysis of different routing protocols in a Delay Tolerant Network. *J Ambient Intell Human Comput* 11, 3833–3839 (2020).
- [119] I. A. Shah, M. Ahmed and A. Yadav, "A Novel Delay Tolerant Routing Protocol for Opportunistic Networks," 2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Pune, India, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/I2CT61223.2024.10543686
- [120] E. Rosas, O. Andrade, N. Hidalgo, Effective communication for message prioritization in DTN for disaster scenarios. *Peer-to-Peer Netw. Appl.* 16, 368382 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12083-022-01416-2>
- [121] S. K. Dhurandher, J. Singh, I. Woungang and J. J. P. C. Rodrigues, "Priority Based Buffer Management Technique for Opportunistic Networks," 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Waikoloa, HI, USA, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013339.
- [122] Elsaadany and M. Aboulhassan, "Hybrid Energy-Efficient Protocol in Delay Tolerant Networks for IoT Systems," 2019 10th IFIP International Conference on New Technologies,

Mobility and Security (NTMS), Canary Islands, Spain, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/NTMS.2019.8763841

[123] Mahzad Kaviani, Branislav Kusy, Raja Jurdak, Neil Bergmann, and Vicky Liu, Energy-Aware Forwarding Strategies for Delay Tolerant Network Routing Protocols, Journal of Sensor and Actuator Networks, Online ISSN: 2224-2708, pp. 1-18, Vol. 5, No. 4, 6th December 2016, Published by MDPI, DOI: 10.3390/jsan5040018. Available: <https://www.mdpi.com/2224-2708/5/4/18>.

[124] J. Lorincz, N. Ukić and D. Begusic, "Throughput Comparison of AODV UU and DSR-UU Protocol Implementations in Multi-hop Static Environments," 2007 9th International Conference on Telecommunications, Zagreb, Croatia, 2007, pp. 195-202, doi: 10.1109/CONTEL.2007.381872.

[125] Abbas, A., Hasan, R. A multi-attribute-based data forwarding scheme for delay tolerant networks. J Supercomput 80, 6356–6381 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05702-5>

[126] Dhurandher S. K, Borah S. J, Woungang I, Tibarewal S, Barolli L. "DEEP: Distance and encounter based energy-efficient protocol for opportunistic networks" , Journal of High Speed Networks, 2018

[127] Khalid, K., Woungang, I., Dhurandher, S.K., Barolli, L., Carvalho G.H.S, and Takizawa, M. (2016). An Energy-Efficient Routing Protocol for Infrastructure-Less Opportunistic Networks, 10th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), Fukuoka, Japan, 2016, pp. 237-244, doi: 10.1109/IMIS.2016.150.

[128] Kaviani, M.; Kusy, B.; Jurdak, R.; Bergmann, N.; Liu, V. Energy-Aware Forwarding Strategies for Delay Tolerant Network Routing Protocols. J. Sens. Actuator Netw. 2016, 5, 18. <https://doi.org/10.3390/jsan5040018>

- [129] Kang MW, Chung YW. A novel energy-aware routing protocol in intermittently connected delay-tolerant wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2017;13(7). doi:10.1177/1550147717717389
- [130] Bista B.B., and Rawat, D.B. (2017). EA-Epidemic: An Energy Aware Epidemic-Based Routing Protocol for Delay Tolerant Networks, *Journal of Communications*, vol. 12, no. 6, pp. 304-311, 2017. Doi: 10.12720/jcm.12.6.304-311.
- [131] Mottaghinia, Z., Ghaffari, A. Fuzzy Logic Based Distance and Energy-Aware Routing Protocol in Delay-Tolerant Mobile Sensor Networks. *Wireless Pers Commun* 100, 957-976 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5360-y>
- [132] Gandhi, J., Narmawala, Z. A case study on the estimation of sensor data generation in smart cities and the role of opportunistic networks in sensor data collection. *Peer-to-Peer Netw. Appl.* 17, 337–357 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12083-023-01607-5>
- [133] Shabalala, S., Shibeshi, Z.S., Khalid, K. (2020). Design and Evaluation of Energy-Efficient Routing Protocols for Opportunistic Networks. In: Woungang, I., Dhurandher, S. (eds) 3rd International Conference on Wireless, Intelligent and Distributed Environment for Communication. WIDECOM 2020. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 51. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44372-66>
- [134] Khan, M.K.M., Kawsaruzzaman, K., Rahman, M.M., Imtiaz, A.-. and Imtiaz, A.-. 2020. The Impact of Node Density and Buffer Size on DTN Routing Protocols with Energy Efficiency: A Comparative Study. *European Journal of Engineering and Technology Research*. 5, 9 (Sep. 2020), 1054–1061. DOI:<https://doi.org/10.24018/ejeng.2020.5.9.2104>.
- [135] Krifa, A., Barakat, C., & Spyropoulos, T. (2010). Optimal Buffer Management Policies for Delay Tolerant Networks. INRIA Sophia-Antipolis

- [136] Er, N. I., Singh, K. D., Couturier, C., & Bonnin, J. M. (2024). Towards a Simple and Efficient Vehicular Delay Tolerant Networks Routing Protocol for Data Collection in Smart Cities. *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, 22(1), 65–75. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v22i1.24801>
- [137] Hasan, S., Sani, M. S., Iranmanesh, S., Al-Bayatti, A. H., Khan, S., & Raad, R. (2023). Enhanced Message Replication Technique for DTN Routing Protocols. *Sensors*, 23(922). <https://doi.org/10.3390/s23020922>.
- [138] Rehman, O., Abbasi, I. A., Hashem, H., Saeed, K., Majeed, M. F., & Ali, S. (2021). SS-Drop: A Novel Message Drop Policy to Enhance Buffer Management in Delay Tolerant Networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*. <https://doi.org/10.1155/2021/9773402>.
- [139] Nanau, C. S. (2020). MaxDelivery: A New Approach to a DTN Buffer Management. *IEEE 21st International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*.
- [140] Théophile, G. Y., Prosper, K. K., Yves, T., & Augustin, T. K. (2023). Proposed Message Transit Buffer Management Model for Nodes in Vehicular Delay-Tolerant Network. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 23(1). <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2023.23.1.20>.
- [141] Sobin, C. C., Raychoudhury, V., & Saha, S. (2017). An Energy-efficient and Buffer-aware Routing Protocol for Opportunistic Smart Traffic Management. *ICDCN 2017*. <https://doi.org/10.1145/3007748.3007757>.
- [142] De Rango, F., & Amelio, S. (2020). Geographic and Energy-aware Epidemic Strategy for Mobile Opportunistic DTN. *DIMES Dept., University of Calabria*, 10.1007/978 – 3 – 030 – 61746 – 220

- [143] A. Keränen, J. Ott, and T. Karkkainen, “The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation,” in Proceedings of the 2-nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools-2009), 2009, [http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/pub/the one simu- tools.pdf](http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/pub/the_one_simu_tools.pdf).
- [144] Keränen, A., Karkkainen, T., and Ott, J. (2010). Simulating Mobility and DTNs with the ONE. *Journal of Communications*, vol. 5, no. 2, pp.92-105, 2010. Doi: 10.4304/jcm.5.2.92-105
- [145] Lindgren, A., Doria, A., Schelén, O. (2004). Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks. In: Dini, P., Lorenz, P., de Souza, J.N. (eds) *Service Assurance with Partial and Intermittent Resources. SAPIR 2004. Lecture Notes in Computer Science*, vol 3126. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-27767-524>
- [146] Gohar, A. and Nencioni, G. (2021) ‘The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system’, *Sustainability*, Vol. 13, No. 9, p. 5188. <https://doi.org/10.3390/su13095188>
- [147] Alahi, M.E.E., Sukkuea, A., Tina, F.W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K. and Mukhopadhyay, S.C. (2023) ‘Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: Recent advancements and future trends’, *Sensors*, Vol. 23, p. 5206. <https://doi.org/10.3390/s23115206>
- [148] Spaho, E. and Jaupi, O. (2025) ‘A framework for integrating 5G and vehicular delay tolerant networks in smart cities’, in Barolli, L. (ed.) *Advanced Information Networking and Applications, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, Vol. 252, Springer, Cham, pp. [forthcoming]. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-87784-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-87784-1_8)
- [149] Mfenjou, M.L., Abba Ari, A.A., Ndam Njoya, A., Fotsa Mbogne, D.J., Kolyang, A. and Spies, F. (2022) ‘Control points deployment in an intelligent transportation system for monitoring inter-urban network roadway’, *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, Vol. 34, pp. 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.10.005>

- [150] Guerna, A. and Bitam, S. (2019) ‘GICA: An evolutionary strategy for roadside units deployment in vehicular networks’, in Proceedings of the 2019 International Conference on Networking and Advanced Systems (ICNAS), IEEE, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICNAS.2019.8807882>
- [151] Zhang, Z., Li, C., Yu, L., Zhao, Y. and Li, Y. (2021) ‘A multi-objective roadside units deployment method in VANET’, in 2021 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT), Jeju, Korea, IEEE, pp. 390–394. <https://doi.org/10.1109/SmartIoT52359.2021.00073>
- [152] Yu, L., Zhang, Z., Li, J., Ma, J. and Wang, Y. (2023) ‘A multi-objective roadside unit deployment model for an urban vehicular ad hoc network’, ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 12, No. 7, p. 262. <https://doi.org/10.3390/ijgi12070262>
- [153] Massobrio, R., Toutouh, J., Nasmachnow, S. and Alba, E. (2017) ‘Infrastructure deployment in vehicular communication networks using a parallel multiobjective evolutionary algorithm’, International Journal of Intelligent Systems, Vol. 32, No. 8, pp. 801–829. <https://doi.org/10.1002/int.21890>
- [154] Nawaf, L.F., Allen, S.M. and Rana, O. (2018) ‘Optimizing infrastructure placement in wireless mesh networks using NSGA-II’, in 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC); IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (DSS), Exeter, UK, IEEE, pp. 1669–1676. <https://doi.org/10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00271>
- [155] Massobrio, R., Toutouh, J., Nasmachnow, S. and Alba, E. (2025) ‘Infrastructure deployment in vehicular communication networks using a parallel multiobjective evolutionary algorithm’, arXiv preprint, arXiv:2501.10016.

- [156] Wang, T., Li, P., Wang, X., Wang, Y., Guo, T. and Cao, Y. (2019) ‘A comprehensive survey on mobile data offloading in heterogeneous network’, *Wireless Networks*, Vol. 25, No. 2, pp. 573–584. <https://doi.org/10.1007/s11276-017-1576-0>
- [157] Xu, D., Li, Y., Chen, X., Li, J., Hui, P., Chen, S. and Crowcroft, J. (2018) ‘A survey of opportunistic offloading’, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 20, No. 3, pp. 2198–2236. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2808242>
- [158] Mayer, C.P. and Waldhorst, O.P. (2011) ‘Offloading infrastructure using delay tolerant networks and assurance of delivery’, in 2011 IFIP Wireless Days (WD), Niagara Falls, ON, Canada, IEEE, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/WD.2011.6098164>
- [159] Rebecchi, F., Dias de Amorim, M., Conan, V., Passarella, A., Bruno, R. and Conti, M. (2015) ‘Data offloading techniques in cellular networks: A survey’, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 2, pp. 580–603. <https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2369742>
- [160] Wan, S., Xue, Y., Lin, W., Xu, X. and Zhang, W. (2020) ‘Efficient computation offloading for Internet of Vehicles in edge computing-assisted 5G networks’, *The Journal of Supercomputing*, Vol. 76, No. 4, pp. 2681–2705. <https://doi.org/10.1007/s11227-019-03011-4>
- [161] Oda, T. (2023) ‘A Delaunay edges and simulated annealing-based integrated approach for mesh router placement optimization in wireless mesh networks’, *Sensors*, Vol. 23, No. 3, p. 1050. <https://doi.org/10.3390/s23031050>
- [162] C. Moler and J. Little, “A history of MATLAB,” *Proc. ACM Program. Lang.*, vol. 4, no. HOPL, Art. 81, 2020. doi: 10.1145/3386331
- [163] Md. Alam, A. M. S. Rahman, S. S. Ghosh, and M. S. Kaiser, “Genetic Algorithm: Reviews, Implementations, and Applications,” *arXiv preprint arXiv:2007.12673*, 2020.