



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI

Școala Doctorală Energetică

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

**INTEGRAREA VEHICULELOR ELECTRICE ÎN REȚELELE
VIITOARELOR ORAȘE INTELIGENTE**

**INTEGRATION OF ELECTRIC VEHICLES IN THE
NETWORKS OF FUTURE SMART CITIES**

Autor: ing. Adrian-Toni RADU

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.dr.ing. Adrian Badea	de la	Universitatea „Politehnica” din București
Conducător de doctorat	Prof. emerit dr.ing. Mircea Eremia	de la	Universitatea „Politehnica” din București
Referent	Prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni	de la	Universitatea Politehnica Timișoara
Referent	Prof.dr.ing. Leonardo-Geo Mănescu	de la	Universitatea din Craiova
Referent	Conf. dr. ing. Lucian Toma	de la	Universitatea „Politehnica” din București

București, 2020

Cuprins

Abrevieri.....	<i>i</i>
Mulțumiri.....	<i>iii</i>
Abstract.....	<i>iv</i>
1. INTRODUCERE	7
1.1. Aspecte generale	7
1.2. Scurt istoric al automobilului electric	7
1.3. Principalele argumente ale mobilității electrice.....	8
1.4. Motivația și scopul studiului	9
1.5. Structura tezei doctorale.....	10
2. CONTEXTUL GENERAL PRIVIND INTEGRAREA VEHICULELOR ELECTRICE ÎN CADRUL NOILOR CONCEPTE DE SMART GRID ȘI SMART CITY	12
2.1. Generalități.....	12
2.2. Caracteristici ale Smart Grid.....	14
2.3. Modele conceptuale ale Smart Grid.....	14
2.3.1. Modelul conceptual american de rețea inteligentă.....	14
2.3.2. Modelul conceptual european de rețea inteligentă.....	15
2.4. Interoperabilitatea tehnologiilor specifice VE din rețelele electrice inteligente.....	17
2.5. Smart City - Orașele Viitorului.....	18
2.5.1. Tendințe de dezvoltare urbană	18
2.5.2. Definiția și caracteristicile orașului inteligent.....	20
2.6. Tipuri de infrastructuri inteligente	22
2.6.1. Trecerea de la Smart Grid către Smart City.....	22
2.6.2. Mobilitatea inteligentă	24
2.6.3. Infrastructura digitală inteligentă.....	25
2.7. Integrarea mobilității electrice	28
2.7.1. Aspecte generale	28
2.7.2. Factorii cheie ai integrării mobilității electrice.....	30
3. SOLUȚII DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A VE	39
3.1. Scurt istoric privind mobilitatea electrică	39
3.2. Standardizarea tehnologiei și rolul acesteia.....	39
3.2.1. Aspecte generale	39
3.2.2. Principalele organizații de standardizare și standarde în vigoare	41
3.3. Moduri standardizate de încărcare	41
3.4. Tipuri standardizate de conectori și prize	44
3.5. Soluții și tehnologii alternative de încărcare a vehiculelor electrice	46
3.5.1. Tehnologia “battery swapping”	47
3.5.2. Încărcarea prin inducție electromagnetică – wireless	49
3.5.3. Sisteme de încărcare tip pantograf.....	50
3.6. Protocoale de comunicare	51

3.7. Dezvoltarea infrastructurii de reîncărcare a VE în cadrul orașelor.....	54
3.7.1. Tipologii ale stațiilor de încărcare	54
3.7.2. Amplasarea optimă a stațiilor de încărcare în cadrul orașelor	56
4. IMPACTUL INTEGRĂRII VEHICULELOR ELECTRICE ASUPRA REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE	59
4.1. Generalități.....	59
4.2. Aspecte tehnice ale impactului VE asupra rețelilor electrice de distribuție.....	60
4.2.1. Potențiale efecte ale integrării VE.....	60
4.2.2. Impactul integrării VE asupra consumului de energie electrică.....	62
4.2.3. Generarea de armonici	63
4.2.4. Variațiile de tensiune și dezechilibrul tensiunilor și al curenților.....	64
4.2.5. Impactul integrării VE asupra pierderilor de putere	64
4.2.6. Reglajul tensiunii și a puterii reactive.....	65
4.2.7. Restabilirea alimentării cu energie electrică după o defecțiune.....	65
4.2.8. Utilizarea VE pentru servicii auxiliare de sistem	66
4.2.9. Agregarea VE ca factor de echilibrare.....	67
4.2.10. Rolul EV privind integrarea surselor regenerabile de energie.....	69
4.3. Strategii de control a încărcării vehiculelor electrice.....	69
4.3.1. Dezvoltarea strategiilor de control ale încărcării în funcție de gradul de integrare a vehiculelor electrice.....	69
4.3.2. Prezentare generală a strategiilor de control a încărcării VE.....	71
4.4. Studiu de caz: Optimizarea încărcării vehiculelor electrice pentru îmbunătățirea condițiilor de funcționare ale rețelilor electrice de distribuție	77
4.4.1. Formularea problemei	77
4.4.2. Modelul matematic	78
4.4.3. Descrierea rețelei electrice studiate și a scenariului considerat	81
4.5. Concluzii de capitol	92
5. ROLUL ELECTROMOBILITĂȚII ÎN INTEGRAREA SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE ȘI A GENERĂRII DISTRIBUITE	94
5.1. Aspecte generale	94
5.2. Generarea distribuită	94
5.2.1. Context general	94
5.2.2. Caracteristici tehnice ale integrării GD.....	95
5.2.3. Starea actuală și tendințe în Europa	96
5.3. Integrarea VE în contextul integrării la scară largă a generării distribuite	97
5.3.1. Context general	97
5.3.2. Disponibilitatea vehiculelor electrice pentru coordonarea încărcării	98
5.3.3. Agregarea vehiculelor electrice	100
5.4. Legătura dintre răspunsul la cerere și încărcarea vehiculelor electrice	106
5.4.1. Importanța programelor de tip “răspuns la cerere”	106
5.4.2. Încărcarea inteligentă a vehiculelor electrice și răspunsul la cerere	108
5.4.3. Beneficii și oportunități ale încărcării inteligente	109

5.5. Metodologie de coordonare a încărcării vehiculelor electrice în funcție de producția din surse regenerabile de energie	111
5.5.1. Algoritm de optimizare.....	111
5.5.2. Modelarea bateriei VE	114
5.5.3. Formularea problemei pentru controlul încărcării VE.....	117
5.5.4. Încărcarea VE în funcție de disponibilitatea SRE.....	120
5.6. Studiu de caz - Coordonarea încărcării VE în cadrul unei microrețele electrice	121
5.6.1. Prezentarea microrețelei test	121
5.6.2. Curbele de consum/ generare în microrețeaua test	122
5.6.3. Scenarii în procesul de încărcare a VE	124
5.6.4. Rezultate numerice.....	126
5.7. Concluzii de capitol	135
6. INTEGRAREA VEHICULELOR ELECTRICE ÎN REȚELELE ELECTRICE ALE SEE ÎN CONDIȚIILE PARTICIPĂRII LA PIAȚA DE ENERGIE	136
6.1. Aspecte generale	136
6.2. Piața de energie electrică.....	137
6.2.1. Obiectiv	137
6.2.2. Entități implicate în cadrul pieței de energie electrică.....	137
6.2.3. Structura pieței angro de energie electrică din România	138
6.2.4. Prezentare generală a componentelor pieței energiei electrice	139
6.3. Adaptarea pieței de energie electrică pentru integrarea vehiculelor electrice	141
6.3.1. Factori care influențează participarea VE pe piața de energie electrică	141
6.3.2. Potențialele tipuri de piață influențate de evoluția cotei de piață a VE.....	142
6.3.3. Privire de ansamblu asupra serviciilor de flexibilitate specifice VE	144
6.3.4. Caracteristicile generației următoare a piețelor de energie electrică în contextul surselor distribuite de energie.....	146
6.4. Strategii de coordonare a încărcării VE pentru participarea pe piața de energie electrică	148
6.4.1. Stabilirea obiectivelor	148
6.4.2. Modelul matematic de optimizare	149
6.4.3. Studii de caz: Descrierea scenariilor analizate.....	151
6.4.4. Interpretarea rezultatelor	156
6.5. Concluzii de capitol	162
7. CONCLUZII FINALE ȘI PERSPECTIVE	164
7.1. Concluzii generale	164
7.2. Contribuții personale.....	165
7.3. Perspective de continuare a cercetării	166
Anexa 1	168
Bibliografie	171

Abrevieri

ADR	–	Automatizare Răspuns la Cerere (Automated Demand Response)
BESS	–	Sisteme de stocare a energiei cu baterii (Battery Energy Storage Systems)
B2G	–	„Clădire către Rețea” (Building-to-Grid)
BEV	–	Vehicul Pur Electric (Battery Electric Vehicle)
CHAdemo	–	Charge-de-Move - standard pentru încărcarea la tensiune continuă a VE
CCS	–	Sistem combinat de încărcare a VE (Combined Charging System), standard pentru încărcarea la tensiune continuă a VE
CAMC	–	Controler central de management autonom (Central Autonomous Management Controller)
CVC	–	Grupul de controlare ale VE (Cluster of Vehicle Controller)
DMS	–	Sistem de management al distribuției (Distribution Management System)
DSO	–	Operator sistem de distribuție (Distribution System Operator)
DER	–	Surse distribuite de energie (Distributed Energy Resources)
DSM	–	Sistem de management al cererii (Demand Side Management)
EMS	–	Sistem de management al energiei (Energy Management System)
ETSI	–	Institutul european de standardizare în domeniul telecomunicațiilor
EVSE	–	Echipament de încărcare VE (Electric Vehicle Supply Energy)
EVS/A	–	Agent agregator de VE (Electric Vehicle Supplier/ Aggregator)
FCV	–	Vehicule cu pile cu combustibil (Fuel Cell Vehicle)
GES	–	Gaze cu efect de seră
G2V	–	„Rețea către Vehicul” (Grid-to-Vehicle)
GD	–	Generare Distribuită
H2G	–	“Casă către Rețea” (Home-to-Grid)
ICT	–	Tehnologia Informației și a Comunicațiilor
IEC	–	Comisia Internațională de Electrotehnică
I2G	–	„Industrie către rețea” (Industry-to-Grid)
ITS	–	Sisteme de transport inteligente (Intelligent Transport Systems)
IoT	–	Internetul lucrurilor (Internet-of-Things)
IEA	–	Agenția Internațională a Energiei
ISO	–	Organizația internațională pentru standardizare
ITU-T	–	Uniunea internațională a telecomunicațiilor
ICCB	–	Dispozitiv de control și protecție pe cablu (In Cable Control Box)
LPWA	–	Rețea de telecomunicații fără fir ce permite comunicații pe distanțe lungi, cu o rată de biți scăzută (Low Power Wide Area)

LTE	–	Standard pentru comunicațiile wireless de mare viteză (Long Term Evolution)
LC	–	Controler de sarcină (Load Controller)
LAC	–	Controler zonă de încărcare (Load Area Controller)
MES	–	Sisteme multi-energetice (Multi Energy Systems)
MMG	–	Multi-microrețele (Multi-MicroGrid)
MC	–	Controler micro-sursă (Micro-source Controller)
MGCC	–	Sistem central de management și control al microrețelei (MicroGrid Central Controller)
MGAU	–	Unitatea de agregare a microrețelei (MicroGrid Aggregation Unit)
MSP	–	Furnizor de servicii de mobilitate (Mobility Service Provider)
NIST	–	Institutul Național de Standardizare și Tehnologie din SUA
OMS	–	Sistem de management al întreruperilor (Outage Management System)
OPCOM	–	Operatorul Pieței de Energie Electrică din România
OPE	–	Operatorul Pieței de Echilibrare
OPEE	–	Operatorul Pieței de Energie Electrică
PHEV	–	Vehicul Electric Plug-in Hibrid (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
PV	–	Panouri fotovoltaice
PCCB	–	Piața Centralizată a Contractelor Bilaterale
PZU	–	Piața pentru Ziua Următoare
PI	–	Piața Intrazilnică
PE	–	Piața de Echilibrare
PSTS	–	Piața Serviciilor Tehnologice de Sistem
SEE	–	Sistem Electroenergetic
SRE	–	Surse Regenerabile de Energie
SEN	–	Sistem Energetic Național
STS	–	Servicii Tehnologice de Sistem
SoC	–	Stare de încărcare (State of Charge)
t.a.	–	Tensiune alternativă
t.c.	–	Tensiune continuă
ToU	–	Timp de utilizare (Time of Use)
TSO	–	Operator de sistem și de transport (Transmission System Operator)
VE	–	Vehicul Electric
V2G	–	„Vehicul către Rețea” (Vehicle-to-Grid)
VPP	–	Centrală electrică virtuală (Virtual Power Plant)

Mulțumiri

Lucrarea a fost realizată sub atenta îndrumare a domnului prof. em. dr. ing. Mircea Eremia, căruia doresc să îmi exprim recunoștința pentru încrederea și suportul științific acordat pe întreaga perioadă de pregătire și elaborare a tezei de doctorat. Pe lângă disponibilitatea și atenția continuă, mi-a oferit posibilitatea unui stagiu de cercetare prin programul ERASMUS+ la compania Enel X Italia, Departamentul e-Mobility din Roma.

În mod deosebit, aduc mulțumiri domnilor Federico Caleno (Head of Enel X Italia), Tiziano Valentinetti (Head of Global Technology Development e-Mobility) și întregii echipe de ingineri pentru sfaturile și discuțiile avute pe durata stagiului de cercetare, care m-au ajutat pentru a înțelege unele aspecte tehnice și practice privind integrarea vehiculelor electrice asupra rețelelor electrice.

De asemenea, aduc sincere mulțumiri domnilor profesori Nicolae Golovanov, Constantin Bulac și Toma Lucian, pentru recomandările și discuțiile purtate, care au fost de mare folos în finalizarea lucrării.

Mulțumesc membrilor comisiei de examinare și susținere a tezei de doctorat pentru sugestiile și observațiile constructive formulate.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei pentru înțelegere și susținere permanentă pe toată perioada pregătirii doctorale.

Cuvinte cheie

Capitolul 1: vehicul electric, poluare, decarbonare, emisii de gaze cu efect de seră;

Capitolul 2: Smart Grid, Smart City, mobilitate inteligentă, interoperabilitate, internetul lucrurilor (IoT);

Capitolul 3: standardizare, mod de încărcare, conector, battery swapping, încărcare wireless;

Capitolul 4: integrare, Vehicle-to-Grid, agregare, strategii de control, sisteme de stocare cu baterii, surse regenerabile de energie, programare liniară;

Capitolul 5: generare distribuită, microrețea electrică, centrala electrică virtuală, răspuns la cerere, model de control predictiv;

Capitolul 6: piața de energie, piața de echilibrare, servicii de flexibilitate, încărcare inteligentă, banda de reglaj.

REZUMAT

Populația planetei se află în fața a numeroase schimbări și provocări incluzând mediul înconjurător, energia, hrana, apa, transportul, infrastructura, sănătatea, educația, administrația și economia. Deși orașele ocupă numai 2% din suprafața planetei, acestea consumă 75% din energia totală produsă și sunt la originea a 80% din emisiile totale de CO₂.

Orașele viitorului trebuie să se adapteze pentru a diminua efectele cauzate de: schimbările climatice; creșterea populației și mobilitatea umană (inclusiv migrația); tensiunile sociale și de inegalitate; globalizarea economiei; dezvoltările tehnologice; nesiguranța privind hrana, apa, energia; schimbările geo-politice etc.

Cum planeta devine mai „urbană”, viitoarele orașe trebuie să devină mai inteligente prin modul în care realizează managementul infrastructurii și resurselor, pentru a furniza necesarul pentru cetățenii de azi și de mâine.

Ținând cont de aspectele prezentate anterior, mobilitatea se află în centrul civilizației moderne. În acest sens, în următorii 20 de ani se vor produce schimbări semnificative, deoarece electrificarea, mobilitatea partajată, conectivitatea vehiculelor și, în cele din urmă, vehiculele autonome remodelează piețele auto și sectorul transporturilor din întreaga lume.

La baza acestei tranziții stau schimbările tehnologice și alți factori care joacă un rol important, cum ar fi factorii politici care direcționează aceste două sectoare către opțiuni cu emisii reduse de carbon și o eficiență îmbunătățită a consumului de combustibil.

Producătorii de automobile și operatorii de parcuri auto mari iau din ce în ce mai în serios obiectivele de decarbonare pe termen mediu și lung. În prezent pe șoselele din întreaga lume circulă peste 7 milioane de vehicule electrice (VE) de pasageri, iar electrificarea se extinde și pe alte segmente ale transportului rutier, cum ar fi sectorul transportului de mărfuri.

Automobilul electric nu este o inovație recentă, ci a apărut în aceeași perioadă cu automobilele cu motoare cu ardere internă. În perioada 1890 și 1900, vehiculele electrice au surclasat toate celelalte tipuri de mașini. Acestea având parte de o popularitate semnificativă la începutul secolului XX, deoarece nu erau la fel de zgomotoase și poluante ca vehiculele cu motoare cu combustie internă. În schimb, dezavantajul automobilelor electrice era autonomia redusă a bateriei, iar proprietarii nu puteau parcurge distanțe lungi.

În acea perioadă, ca și în prezent, nu oricine își permitea să aibă un automobil electric, acesta fiind cumpărat de oamenii cu posibilități financiare.

În ultimii ani, progresele tehnologice și preocupările legate de schimbările climatice au stimulat treptat renașterea vehiculelor electrice.

Industria auto trece, în prezent, prin cea mai importantă schimbare din istoria sa: trecerea de la motorul cu combustie internă la motorul electric. Companiile constructoare de mașini investesc sume foarte mari de bani și fac alianțe neașteptate pentru a se adapta noilor condiții din piață.

Vehiculele electrice au câștigat tot mai multă popularitate în ultimii ani datorită capacității lor de a oferi multiple avantaje care includ:

Eficiență energetică: vehiculele electrice mai eficiente din punct de vedere energetic decât vehiculele convenționale cu motor cu ardere internă (engl. *Internal Combustion Engine* - ICE).

Securitatea energetică: mobilitatea electrică mărește securitatea energetică, deoarece sectorul transportului rutier este caracterizat de o dependență puternică față de combustibili pe bază de petrol. În plus, energia electrică poate fi produsă cu o varietate de resurse și combustibili și este adesea generată pe plan intern.

Poluarea aerului: Datorită emisiilor zero, vehiculele electrice sunt potrivite în raport cu problemele legate de poluarea aerului, în special în zonele urbane și de-a lungul drumurilor rutiere, unde un număr mare de oameni sunt expuși poluanților nocivi din vehiculele de transport rutier.

Emisiile de gaze cu efect de seră (GES): creșterea mobilității electrice în asociere cu o creștere progresivă a producției de energie electrică cu emisii reduse de carbon poate produce reduceri semnificative ale emisiilor de GES din transportul rutier în raport cu vehiculele clasice. În plus, vehiculele electrice pot oferi servicii de flexibilitate pentru sistemele electroenergetice (SEE) și pot acționa în concordanță cu integrarea surselor variabile de energie regenerabilă pentru generarea de electricitate.

Reducerea zgomotului: vehiculele electrice sunt mai silențioase decât vehiculele ICE, în special cele din categoria cu două/ trei roți.

Dezvoltare industrială: vehiculele electrice sunt poziționate în mod esențial ca un potențial facilitator al reducerii majore a costurilor în tehnologia bateriilor, acestea reprezentând unul dintre lanțurile cheie pentru competitivitatea industrială, având în vedere relevanța sa pentru tranziția către energii “curate” prin posibilitatea stocării energiei electrice.

Aceste și alte avantaje ale vehiculelor electrice au condus la o dezvoltare globală în creștere și la o înțelegere sporită a provocărilor și oportunităților mobilității electrice în ultimul deceniu.

Din punct de vedere statistic, dacă în anul 2010, la nivel global erau doar 17.000 de automobile electrice și doar cinci țări puteau număra peste 1000 de VE pe drumurile lor (China, Japonia, Norvegia, Marea Britanie și SUA), în anul 2020 există aproximativ 7,2 milioane de automobile electrice, stocul global rămânând concentrat în China, Europa și Statele Unite ale Americii.

În Europa, vânzările de automobile electrice în 2019 au crescut cu 50% față de 2018, țările cu cea mai mare pondere de automobile electrice în vânzările totale de automobile fiind Norvegia cu 56% și Islanda cu 22%. Germania a depășit Norvegia în 2019 pentru cel mai mare volum de vânzări la 109 000 de automobile electrice (o creștere de 61% față de 2018) [4].

Vehiculele electrice au devenit o prezență cotidiană în multe orașe din întreaga lume, sub formă de autoturisme personale, taxiuri, servicii de car sharing, parcuri auto municipale, autobuze urbane, vehicule cu două / trei roți (în special trotinete electrice) și din ce în ce mai mult pe segmente de vehicule comerciale și de marfă.

Guvernele au introdus o serie de politici ambițioase pentru a sprijini industria vehiculelor electrice. Acestea includ abordări pentru reducerea barierelor de adoptare și pentru promovarea dezvoltării infrastructurii de încărcare necesare.

Realizările în ceea ce privește progresele tehnologice și dezvoltarea pieței se unesc cu obiectivele unui număr de factori de decizie politică, companii din industrie și societatea civilă, anticipând o accelerare suplimentară a implementării vehiculelor electrice în anii următori, ceea ce va transforma semnificativ sectorul transportului rutier dar totodată, și pe cel al sistemelor electroenergetice care va trebuie să asigure energia necesară încărcării bateriilor VE.

În contextul celor de mai sus, tema de cercetare aleasă se încadrează în actualele tendințe privind decarbonarea sectorului transportului și reducerea poluării din cadrul orașelor. De asemenea, este în concordanță cu obiectivul recent al Uniunii Europene, să devină neutră din punctul de vedere al emisiilor gazelor cu efect de seră (*Directiva Green Deal*). Astfel că autoritățile vor ca începând cu anul 2025 să fie introdus un standard de poluare Euro 7, iar după anul 2040, în Uniunea Europeană să fie comercializate doar mașini cu emisii zero.

Teza doctorală este constituită din șapte capitole, o anexă și are 121 de referințe bibliografice.

Scopul studiului este (i) de a analiza impactul și posibilele efecte ale integrării numărului mare de vehicule electrice în cadrul sistemelor electroenergetice, deoarece necesitatea încărcării tuturor acestor vehicule poate genera atât efecte negative asupra funcționării rețelelor electrice, cât și efecte pozitive prin serviciile de flexibilitate generate de acestea, dar și (ii) de a propune o serie de strategii și măsuri de integrare a acestora.

Vehiculele electrice alături de sistemele de stocare a energiei vor constitui principala componentă a mobilității inteligente din cadrul conceptului de Smart City. O ramură importantă a mobilității inteligente este reprezentată de mobilitatea electrică care utilizează vehicule electrice cu diverse tehnologii ca de exemplu, baterii electrice fixe, baterii care se pot schimba sau încărcare wireless.

În Capitolul 1, intitulat *Introducere*, se face o scurtă descriere a contextului general al subiectului abordat, se prezintă un scurt istoric al evoluției în timp a vehiculului electric și principalele argumente privind trecerea către mobilitatea electrică.

Tot în cadrul acestui capitol sunt prezentate motivația și scopul studiului, alături de descrierea structurii tezei.

În Capitolul 2, *Contextul general privind integrarea vehiculelor electrice în cadrul noilor concepte de Smart Grid și Smart City*, se prezintă principalele aspecte ale celor două concepte și legăturile dintre acestea prin intermediul noilor tehnologii, cum ar fi internetul lucrurilor (IoT) și tehnologia 5G.

Conceptul de oraș inteligent are în vedere o serie de elemente cheie, cum ar fi: economia, cetățenii (oamenii), guvernarea, condițiile de viață (calitatea vieții), mediul înconjurător și nu în ultimul rând mobilitatea (transportul).

Vehiculele electrice, asemenea sistemelor de stocare a energiei alături de managementul activ al rețelelor electrice și al sistemelor inteligente de automatizare reprezintă părți din ceea ce în

prezent se consideră viitoarele rețele electrice inteligente. Integrarea acestor elemente va presupune existența alături de infrastructura rețelei electrice și a unei rețele de comunicații.

În ceea ce privește integrarea VE în rețelele electrice, consumul de energie electrică datorat de încărcarea VE este încă neglijabil astăzi. Cu o adoptare pe scară largă a VE, consumul de energie electrică suplimentar poate atinge valori care vor afecta funcționarea sistemului electroenergetic, într-un mod pozitiv sau negativ. De fapt, în cazul în care încărcarea VE se realizează fără restricții, consumul suplimentar de energie electrică în timpul orelor de vârf de sarcină poate pune probleme privind funcționarea sigură a sistemului energetic. Ca o consecință, încărcarea fără restricții a VE poate implica investiții suplimentare în capacitatea de producție și de transport a energiei electrice, creșterea gradului de uzură a componentelor din rețelele de distribuție și probleme privind calitatea energiei electrice. Pe de altă parte, în cazul în care încărcarea VE este susținută de sisteme tarifare diferențiate care să țină cont de producția efectivă a energiei electrice din surse regenerabile de energie, poate aduce multe beneficii privind funcționarea sistemelor energetice, cât și beneficii privind reducerea poluării și pentru mediul înconjurător.

În acest capitol, au fost analizate și o serie de aspecte privind integrarea mobilității electrice, luând în calcul elemente precum sustenabilitatea și conștientizarea problemelor privind mediul înconjurător, aspecte politice și economice, acceptarea de către utilizatori, evoluția tehnologiilor.

Capitolul 3, intitulat *Soluții de alimentare cu energie electrică a vehiculelor electrice*, prezintă pe larg o serie de aspecte cum ar fi: standardizarea tehnologiilor și echipamentelor de reîncărcare a vehiculelor electrice, soluții și tehnologii alternative ale încărcării VE comparativ cu încărcarea clasică conductivă.

Standardizarea joacă un rol cheie în dezvoltarea și implementarea tehnologiei în societate, oferind o bază indispensabilă pentru penetrarea pe piață la scară largă și acceptarea/ conștientizarea din partea utilizatorilor.

În conformitate cu standardul IEC 61851-1, sunt definite patru moduri de încărcare a VE: modul 1, încărcarea la o priză obișnuită fără a se utiliza vreun dispozitiv de protecție sau control (nu este recomandată utilizarea acestui mod de încărcare); modul 2, încărcarea la o priză obișnuită dar utilizând un cablu echipat cu dispozitiv de protecție și control; modul 3, încărcarea la un echipament dedicat încărcării VE (stație de încărcare) prevăzut cu funcții de protecție și control, de asemenea, puterea de încărcare (la tensiune alternativă) este determinată de comunicarea dintre stația de încărcare și vehicul; modul 4, permite încărcare accelerată cu tehnologie specială de încărcare, precum încărcarea la tensiune continuă. Toate funcțiile necesare de control și protecție sunt incluse în infrastructura instalată. Conversia de la tensiune alternativă la tensiune continuă are loc în stația de încărcare.

Soluțiile și tehnologiile alternative privind încărcarea VE prezentate în acest capitol sunt: conceptul de înlocuire a bateriilor (engl. *battery swapping*), încărcarea wireless, sisteme de încărcare tip pantograf pentru vehiculele de transport marfă și pasageri.

Tot în cadrul acestui capitol sunt descrise principalele protocoale de comunicații privind întreg ecosistemul infrastructurii de reîncărcare a vehiculelor electrice: utilizatori de vehicule electrice, operatori ai infrastructurii de reîncărcare, operatorii sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice, furnizorii de energie electrică, furnizorii de servicii de mobilitate electrică.

Ținând cont de contextul cadru al tezei de doctorat, cel al orașului inteligent și în baza studiului bibliografic realizat în capitolele 2 și 3, în acest capitol se prezintă o analiză a tipologiilor stațiilor de încărcare și se propun o serie de factori privind amplasarea optimă a stațiilor de încărcare în interiorul viitoarelor orașe inteligente.

Capitolele 2 și 3 ale tezei conțin aspecte teoretice complexe prelucrate pe baza literaturii de specialitate.

În Capitolul 4, *Impactul integrării vehiculelor electrice asupra rețelelor electrice de distribuție*, se prezintă analiza din punct de vedere tehnic a impactului vehiculelor electrice asupra rețelelor electrice de distribuție urbane, privind modificarea consumului de energie electrică, generarea de armonici, variațiile de tensiune, reglajul tensiunii și a puterii reactive, furnizarea de servicii auxiliare de sistem, integrarea surselor regenerabile de energie. În acest sens sunt descrise o serie de strategii de control (uzuale, de complexitate medie și avansate) a încărcării vehiculelor electrice.

Având în vedere că, în viitorul apropiat se așteaptă ca parcuri mari de vehicule electrice să fie integrate în cadrul rețelelor electrice, un aspect este legat de gestionarea cererii, deoarece acest impact poate fi atenuat dacă încărcarea VE se va face în afara orelor de vârf de sarcină. Din punct de vedere al rețelelor electrice, VE pot fi considerate fie ca sarcini simple (cu consum constant), fie ca sarcini flexibile prin programarea perioadelor de reîncărcare, sau ca dispozitive de stocare care prin intermediul conceptului Vehicle-to-Grid (V2G) pot coordona procedura de încărcare sau să injecteze în rețea energie din bateriile lor.

În cazul unei penetrări masive a VE se impune coordonarea funcționării acestora nu numai ca o oportunitate de afaceri, ci și ca un nou agent agregator care ar avea impact asupra rețelei electrice prin controlul cererii. Dacă VE sunt grupate/ agregate, atunci prin coordonarea încărcării, pot participa la procesul de echilibrare prin ajustarea consumului din rețea sau injecția de energie către rețea atunci când este necesar. Astfel sistemele V2G pot oferi servicii operatorilor de rețea ca de exemplu servicii auxiliare, suport de putere activă, compensarea puterii reactive și reglajul tensiunii.

În studiul de caz realizat, sunt propuse două strategii de optimizare a încărcării VE, luând în calcul sisteme de stocare a energiei cu baterii (engl. *battery energy storage system* - BESS) și integrarea surselor regenerabile de energie. Prin modelul matematic formulat se urmărește a găsi cea mai bună strategie pentru încărcarea VE în cadrul rețelei electrice de distribuție urbană, utilizând atât modul de funcționare unidirecțional (engl. *Grid-to-Vehicle* - G2V) cât și cel bidirecțional (engl. *Vehicle-to-Grid* - V2G).

Optimizarea și coordonarea încărcării VE în cadrul stațiilor de încărcare se bazează pe variația prețului energiei electrice, profilul prețului energiei electrice fiind preluat de la platforma OPCOM.

Rezultatele obținute pentru modul de încărcare unidirecțională a VE ilustrează faptul că acestea sunt programate să fie încărcate preponderent noaptea și în perioadele zilei când sarcina este mai scăzută, respectiv prețul energiei electrice este mai mic. În timpul vârfurilor de sarcină când prețul energiei este mai ridicat, încărcarea VE este limitată sau chiar oprită unde este posibil acest lucru.

În cazul scenariului privind modul de încărcare bidirecțional, VE-urile sunt programate să se încarce/ descarce bateriile astfel încât să se reducă la minimum costurile totale cu energia electrică. Astfel că pe durata golurilor de sarcină sau când există un excedent de putere din producția surselor regenerabile de energie, VE-urile consumă energie din rețea la un preț mai mic, urmând ca în timpul vârfurilor de sarcină acestea să injecteze energie înapoi în rețea la un preț superior.

Sistemele de stocare a energiei cu baterii, în cadrul rețelei electrice testate, funcționează ca o instalație „tampon”, care amortizează variațiile de putere introduse în rețeaua electrică atât de consumul cauzat de încărcarea bateriilor VE, cât și de caracterul fluctuant al producției celor două centrale fotovoltaice.

Programele software utilizate în cadrul studiului de caz sunt IBM ILOG CPLEX Optimization Studio în vederea determinării strategiei optime de încărcare a VE și NEPLAN pentru simularea scenariilor strategiei optime pe rețeaua electrică de distribuție testată.

În Capitolul 5, intitulat *Rolul electromobilității în integrarea surselor regenerabile de energie și a generării distribuite*, se descrie situația actuală în ceea ce privește generarea distribuită și integrarea vehiculelor electrice. Totodată sunt prezentate aspecte privind agregarea vehiculelor electrice și coordonarea încărcării acestora în cadrul microrețelor electrice și a centralelor electrice virtuale și sunt descrise relațiile dintre serviciile de tip “răspuns la cerere” și încărcarea inteligentă a VE.

Marile aglomerări urbane se confruntă cu provocări tot mai mari în ceea ce privește siguranța în alimentarea cu energie electrică, astfel că sistemele energetice urbane sunt într-o perioadă de tranziție de la un model centralizat, către unul distribuit. Acest lucru se datorează în mare măsură dezvoltării tehnologiilor Smart Grid și a integrării unui număr tot mai mare de surse distribuite de energie.

În studiul de caz realizat, se descrie o metodologie de coordonare a încărcării VE în funcție de producția de energie electrică din surse regenerabile de energie, utilizând un model de control predictiv, MPC (engl. *Model Predictive Control*). Obiectivele studiului realizat sunt minimizarea diferenței dintre producția și consumul de energie electrică din interiorul microrețelei și utilizarea doar a puterii disponibile din producția surselor regenerabile de energie pentru încărcarea VE.

În cadrul studiului de caz din acest capitol sunt analizate două scenarii privind coordonarea încărcării VE într-o microrețea, în contextul unui grad mare de penetrare a surselor de generare distribuită: (i) coordonarea încărcării VE pentru a minimiza diferența dintre producție și consum în interiorul unei microrețele, (ii) coordonarea încărcării VE în funcție de producția surselor regenerabile de energie conectate la microrețeaua test.

Pentru ambele scenarii coordonarea încărcării VE utilizează un model de control predictiv. Această strategie permite utilizatorilor de VE să participe la programe de tip Demand Response, în acest sens propunându-se realizarea unor interacțiuni între dispecerizarea locală a unităților de generare distribuită și operatorul sistemului de distribuție (DSO) pentru o microrețea interconectată cu rețeaua publică. Strategia de control propusă ține întotdeauna cont de respectarea cerințelor utilizatorilor VE care aleg să participe la astfel de programe care furnizează servicii de flexibilitate operatorilor de rețea.

Simulările numerice realizate în acest studiu au putut fi validate pe baza testelor realizate în cadrul companiei Enel X Italia, având la dispoziție automobile și stații de încărcare.

În Capitolul 6, *Integrarea vehiculelor electrice în rețelele electrice ale SEE în condițiile participării la piața de energie*, sunt prezentate cadrul și structura generală a pieței de energie electrică din România. De asemenea, sunt descrise o serie de aspecte privind adaptarea pieței de energie electrică și cerințele generației următoare de piețe din perspectiva integrării masive a VE și a influenței asupra pieței de energie.

Având în vedere posibilitatea participării VE pe diferite tipuri de piață prin intermediul agenților agregatori, în cadrul acestui capitol s-a propus un algoritm de optimizare a încărcării VE pentru a participa pe piața de echilibrare oferind servicii de reglaj, sub forma unei unități dispecerizabile.

Algoritmul dezvoltat propune urmărirea unui profil de putere agregat, calculat de către Operatorul de Transport și Sistem (TSO) pe baza previziunilor de consum/ producție cu o zi înainte, și respectarea preferințelor utilizatorilor VE în ceea ce privește gradul de încărcare a bateriilor.

În studiul de caz se analizează potențialul VE pentru participarea pe piața de echilibrare și cea a serviciilor tehnologice de sistem, cu scopul de reglaj privind reducerea dezechilibrelor dintre profilul de putere prognozat și profilul de putere realizat. Astfel se prezintă participarea pe piața de echilibrare a unui agent agregator ce are în portofoliul său patru grupuri de VE cu caracteristici distincte (Home, Work - încărcare lentă, sesiuni de încărcare cu durată mare; Shopping, Public - încărcare rapidă, sesiuni de încărcare cu o durată mai scurtă (10 min - max. 2 ore)).

Ținând cont de curba de consum prognoată și cea realizată, sunt stabilite benzile de reglaj care le poate oferi agentul agregator, acesta comportându-se ca și în cazul deținătorilor de unități/ consumuri dispecerizabile, în scopul compensării abaterilor de la valorile programate ale producției și consumului de energie electrică. Astfel că, pe perioada excedentului de putere se va consuma energie din sistem, iar în cazul deficitului de putere, se va injecta energie în sistem din bateriile VE.

Rezultatele obținute în urma simulărilor numerice confirmă faptul că VE au un potențial crescut de participare pe piețele de energie, deoarece bateriile acestora au un timp de răspuns foarte mic și pot urmări cu precizie semnalele date de către operatorul pieței, DSO sau TSO, după caz.

Capitolul 7, de *Concluzii generale și perspective*, prezintă concluziile generale și contribuțiile personale cu privire la metodologiile, algoritmele și programele de calcul elaborate în cadrul tezei de doctorat. De asemenea, sunt enumerate și perspectivele de continuare ale activității de cercetare.

În urma activității de cercetare care a stat la baza elaborării prezentei teze de doctorat, se disting următoarele concluzii:

- În condițiile fenomenului de “urbanizare globală”, orașele se află la confluența unor provocări majore în mai multe sectoare: economie, energie, transport, clădiri, alimentare cu apă, protecția mediului înconjurător și servicii de bază. Pentru a răspunde aspectelor menționate anterior, orașele sunt motivate să apeleze la soluții inteligente și la experimentarea unor diverse aplicații de infrastructură inteligentă, astfel transformându-se în viitoarelor orașe inteligente – *Smart City*.

- În cadrul conceptului Smart City, un rol semnificativ îl au problemele de transport din orașe, unde electrificarea sectorului transporturilor constituie viitorul incontestabil al mobilității, confirmat și prin cele peste 7,2 milioane de vehicule electrice de pasageri și transporturi de mărfuri.
- La această creștere rapidă a numărului de VE au contribuit printre altele: (a) înăsprirea reglementărilor privind utilizarea combustibililor clasici (benzină, motorină) în Europa și China, care a făcut ca industria auto să se reorienteze rapid către modele variate de VE (PHEV și BEV), în prezent fiind disponibile peste 442 de noi modele; (b) scăderea prețurilor bateriilor Litiu-Ion, pe kWh, cu 87% între 2010 și 2019.
- Ținând cont de aspectele prezentate, vehiculele electrice au devenit unul dintre principalele răspunsuri în ceea ce privește decarbonarea sectorului transporturilor, iar sursele regenerabile de energie în domeniul sectorului de producere a energiei electrice. Cu toate acestea, impactul lor asupra rețelilor electrice nu poate fi neglijat.
- Principalele influențe asupra funcționării rețelilor electrice de distribuție de medie și joasă tensiune, datorate integrării stațiilor de încărcare a VE și a generării distribuite sunt: supraîncărcarea unor elemente de rețea (linii electrice, posturi de transformare); scăderea nivelului tensiunii și reglajul tensiunii; schimbarea sensului circulației de puteri; creșterea pierderilor de putere; probleme de calitate a energiei.
- Electrificarea transportului rutier este proiectată să câștige un avânt semnificativ în următoarele decenii, fiind determinată de dorința la nivel mondial de a trece către o mobilitate cu emisii reduse. Numărul în creștere de vehicule electrice poate modifica volumul cererii globale de energie electrică și să implice provocări semnificative pentru infrastructura de producere, transport și distribuție a energiei electrice.
- Impactul integrării unui număr mare de vehicule electrice asupra sistemelor electroenergetice, depinde în mare măsură de strategiile de încărcare a acestora; prin coordonarea procesului de încărcare a vehiculelor electrice se pot obține servicii de flexibilitate în sistemul electroenergetic, iar investițiile necesare în modernizarea infrastructurii ar putea fi reduse.
- În urma simulărilor numerice aferente metodologiilor, algoritmilor și a programelor de calcul dezvoltate în această lucrare s-a demonstrat faptul că încărcarea inteligentă a bateriilor aferente VE ar putea ajuta la netezirea curbei de sarcină (ceea ce la rândul său poate duce la scăderea prețului energiei electrice în comparație cu încărcarea neordonată), poate furniza servicii auxiliare de sistem și facilitează integrarea surselor regenerabile de energie, astfel rezultând o exploatare mult mai sigură și economică a rețelilor electrice.
- Pentru a „beneficia” de avantajele depline ale flexibilității suplimentare aduse sistemului electroenergetic de către vehiculele electrice și pentru a asigura o

integrare complet compatibilă cu sistemul, a fost necesară apariția pe piață a agenților agregatori, care pot grupa sarcina controlabilă a tuturor consumatorilor flexibili și astfel să se tranzacționeze pe piețele de profil această flexibilitate.

- Utilizarea bateriilor VE pentru serviciile de sistem prin tehnologia V2G necesită soluții dedicate de comunicare și gestionare bazate pe IT, precum și accesul proprietarilor de vehicule electrice sau al entităților intermediare pe piețele respective pentru serviciile de sistem.

Contribuțiile principale ale acestei lucrări includ:

- i) Realizarea unui *studiu documentar privind cadrul general de integrare a mobilității electrice în cadrul conceptelor Smart Grid și Smart City*. Acest studiu a scos în evidență factorii cheie ai integrării vehiculelor electrice.
- ii) Având în vedere noutatea domeniului, s-au *identificat principalele organizații de standardizare și standarde privind infrastructura de încărcare a vehiculelor electrice și s-au prezentat soluțiile și tehnologiile de încărcare a VE*. De asemenea, în baza informațiilor acumulate s-au prezentat aspecte legate de amplasarea optimă a stațiilor de încărcare în cadrul rețelelor electrice urbane.
- iii) *Optimizarea încărcării vehiculelor electrice pentru îmbunătățirea condițiilor de funcționare ale rețelelor electrice de distribuție*, prin care s-a urmărit identificarea efectelor a diferite moduri de încărcare (G2V și V2G) a VE asupra unei rețele de distribuție urbană în ceea ce privește gradul de încărcare a rețelei electrice, nivelul de tensiune în nodurile rețelei, pierderile de putere activă în condițiile integrării a două centrale fotovoltaice și a sistemelor de stocare a energiei electrice în baterii. În acest scop s-a dezvoltat un algoritm și program de calcul care folosește metoda programării liniare; rezultatele obținute în urma simulărilor ilustrează o mai bună exploatare a rețelei electrice, respectiv reducerea costurilor operaționale și utilizarea la maxim a producției centralelor fotovoltaice.
- iv) S-a *elaborat o metodologie originală de coordonare a încărcării vehiculelor electrice în funcție de producția din surse regenerabile de energie*. Strategia de management a încărcării VE este una de tip “model de control predictiv”, care permite utilizatorilor de VE să participe la programe de tip Demand Response. În acest sens se propune crearea unor interacțiuni între dispecerizarea locală a unităților GD și DSO pentru o microrețea interconectată cu rețeaua publică. Obiectivele acestei interacțiuni sunt (a) minimizarea diferenței dintre producție și consum din interiorul microrețelei și (b) utilizarea doar a puterii disponibile din producția surselor regenerabile de energie pentru încărcarea VE.
- v) *Realizarea pentru prima dată de experimente cu automobile electrice și stații de încărcare reale*, în cadrul Departamentului E-Mobility Solutions Development al companiei Enel X Italia, de la Roma. Aceste experimente au fost utilizate pentru validarea rezultatelor obținute prin simulări numerice.

vi) *Strategii de coordonare a încărcării vehiculelor electrice pentru participarea pe piața de energie electrică.* Strategia de control are ca obiective urmărirea unui profil de putere agregat, calculat de TSO pe baza previziunilor de consum/ producție cu o zi înainte, și respectarea preferințelor utilizatorilor VE în ceea ce privește gradul de încărcare a bateriilor.

În urma simulărilor efectuate, gradul de satisfacție al utilizatorilor participanți la acest tip de servicii a fost 98%, iar VE-urile participante la serviciile de reglaj au demonstrat că pot oferi un răspuns rapid și fidel la semnalele din partea operatorului de sistem.

vii) *Valorificarea și diseminarea cercetărilor prin participarea și publicarea de lucrări în cadrul unor conferințe naționale și internaționale:*

2014 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Milwaukee, WI, SUA; 2017 IEEE Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest; International Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance - CMDM 2017, Bucharest; Scientific Bulletin of the Petru Maior University, Târgu Mureș, 2017; Zilele Academiei de Științe Tehnice din România, Energie și mediu. Provocări majore ale secolului XXI - ZASTR 2018, Ploiești; 2019 IEEE Milan PowerTech, Milan; 2019 IEEE Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest; Buletinul Științific al Politehnicii din București, Seria C: Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2020.

În vederea continuării studiilor prezentate în cadrul acestei teze de doctorat, se propun următoarele direcții de cercetare:

- Participarea vehiculelor electrice la servicii de reglaj de putere reactivă prin intermediul convertoarelor, care utilizează electronica de putere, cu care sunt echipate VE sau stațiile de încărcare;
- Studiul degradării bateriei VE în ceea ce privește furnizarea de servicii auxiliare de sistem, mai ales din punct de vedere al utilizatorilor de VE;
- Furnizarea de servicii auxiliare care utilizează coordonarea încărcării VE racordate în rețelele electrice de JT. Parcul de VE este echivalent fie cu sarcinile electrice pe durata procesului de încărcare, fie cu centralele fotovoltaice atunci când injectează energie în rețea, conducând astfel la variații ale nivelului de tensiune;
- Analiza soluțiilor de integrare a stațiilor de încărcare ultra-rapide cu puteri de până la 350 kW în cadrul rețelelor electrice urbane, care deja sunt solicitate, prin soluții de tip hibrid cu sisteme de stocare a energiei cu baterii.

Bibliografie

- [1] C. Sulzberger, *An early road warrior: electric vehicles in the early years of the automobile*, IEEE Power and Energy Magazine, vol. 2, no. 3, pp. 66-71, May-June 2004.
- [2] Wikipedia - Istoria automobilului electric (https://ro.wikipedia.org/wiki/Istoria_automobilului_electric).
- [3] H. Turker, **A. Radu**, S. Bacha, D. Frey, J. Richer, P. Lebrusq, *Optimal charge control of electric vehicles in parking stations for cost minimization in V2G concept*, 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Milwaukee, WI, 2014, pp. 945-951.
- [4] International Energy Agency – *Global EV Outlook 2020*, June 2020.
- [5] T. T. Quoc, X. Le Pivert, M. Saheli, O. Beaude, *Stochastic approach to assess impacts of electric vehicles on the distribution network*, 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), pp. 1-8, October 2012, Berlin.
- [6] United States of America Department of Energy, in Cisco, 2010, Cisco smart grid: *Substation automation solutions for utility operations*.
- [7] Comisia Europeană – *Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*, Platforma Tehnologică Europeană SmartGrids, 2006.
- [8] Eremia, M., Toma, L., Bulac, C., Triștiu, I. – *Rețele electrice inteligente*, WEC Regional Forum FOREN2008, Neptun, 16-19 iunie 2008.
- [9] CENELEC – *CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group Smart Grid Reference Architecture*, November 2012.
- [10] NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability, 2010.
- [11] United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2018, *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, New York, 2019.
- [12] UNCTAD, 2015, *Science, Technology and Innovation for Sustainable Urbanization* (New York and Geneva, United Nations publication).
- [13] <http://smartercitieschallenge.org/>
- [14] International Telecommunication Union, 2014, *Smart sustainable cities: An analysis of definitions*, Focus Group Technical Report.
- [15] M. Eremia, L. Toma, M. Sănduleac, *The SmartCity Concept in the 21st Century*, Elsevier Procedia Engineering, vol. 181, pp. 12-19, 2017.
- [16] Deloitte, *Africa is ready to leapfrog the competition through smart cities technology*, 2014, http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/publicsector/ZA_SmartCities_12052014.pdf.
- [17] Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. – *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities*. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology, 2007.
- [18] Scientific and Technical Advisory Panel, 2014, Sustainable urbanization policy brief, Global Environment Facility; and United Nations Environment Programme, 2015, Cities and climate change.

- [19] *Issues Paper On Smart Cities and Infrastructure*, United Nations Commission on Science and Technology for Development Inter-sessional Panel 2015-2016, 11-13 January 2016, Budapest, Hungary.
- [20] D. Brčić, M. Slavulj, D. Šojat, J. Jurak, *The Role of Smart mobility in Smart Cities*, 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure, Zadar, Croatia, Mai, 2018.
- [21] EPRI – *The Integrated Energy and Communication Systems Architecture*, Vol. IV, Technical Analysis, Electric Power Research Institute, 2004.
- [22] N. Lutsey, M. Nicholas, *Update on electric vehicle costs in the United States through 2030*, The International Council on Clean Transportation, Working Paper 2019-06, April, 2019.
- [23] D. B. Richardson, *Electric Vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, impacts and renewable energy integration*, Renewable and Sustain. Ener. Reviews, Elsevier, vol. 19, pp. 247-254, December 2012.
- [24] T. H. Ortmeier, P. Pillay – *Trends in Transportation Sector Technology Energy Use and Greenhouse Gas Emissions*, Proceedings of the IEEE, vol. 89, no. 12, pp. 1837-1847, December 2001.
- [25] L. D. D. Harwey – *Global climate-oriented transportation scenarios*, Energy Policy, vol. 54, pp. 87-103, 2013.
- [26] International Energy Agency, IEA – *Hybrid and Electric Vehicles – The Electric Drive Captures the Imagination*, Annual Report 2011, March 2012.
- [27] P. Crist – *Electric Vehicles Revisited: Costs, Subsidies and Prospects*, Discussion, Paper No. 2012-O3, International Transport Forum, Paris, April 2012.
- [28] S. Carley, J. Graham, R. M. Krause, B. W. Lane – *Intent to purchase a plug-in electric vehicle: a survey of early impressions in large US cities*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 18, pp. 39-45, September 2012.
- [29] N. Lutsey, M. Nicholas, *Update on electric vehicle costs in the United States through 2030*, The International Council on Clean Transportation, Working Paper 2019-06, April, 2019.
- [30] U.S. Energy Information Administration – *Electric power monthly*, February, 2013.
- [31] Europe's Energy Portal, March, 2013: www.energy.eu
- [32] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, P. M. R. Almeida, *Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System*, Proc. of the IEEE, vol. 99, no. 1, pp. 168-183, January 2011.
- [33] A. Boulanger – *Vehicle Electrification: Status and Issues*, Proc. of the IEEE, vol. 99, no. 6, pp. 1116-1138, June 2011.
- [34] “Europe 2020 Targets”, European Commission, <http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020>
- [35] “CO2 emissions from fuel combustion – Highlights”, IEA Statistics, 2012 edition, <http://www.iea.org/stats/index.asp>
- [36] International Energy Agency (IEA), “2012 Key World Energy Statistics”, on <http://www.iea.org/stats/>
- [37] “Energy, transport and environment indicators”, Eurostat, European Commission, 2012 Edition, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/publications>.
- [38] “European Union emission inventory report 1990–2011 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)”, EEA Technical Report, No 10/2013, June 2013, <http://www.eea.europa.eu/publications/>

- [39] “Towards a green economy in Europe - EU environmental policy targets and objectives 2010–2050”, EEA Report, No. 8/2013, July 2013, <http://www.eea.europa.eu/>
- [40] “EV City Casebook – A look at the global electric vehicle movement”, 2012, <http://cleanenergyministerial.org/OurWork/Initiatives/ElectricVehicles.aspx>
- [41] European Federation for Transport and Environment AISBL – *CO2 Emissions from cars: the facts*, April, 2018.
- [42] International Energy Agency (IEA), “*World Energy Outlook 2013*”, <http://www.worldenergyoutlook.org/>
- [43] V. Murin, D. Osso, M. Sarr, H. Bouia, C. Bathany, J. Maire. – *Prospective study on the impact of electrical vehicles on the winter load peak in a village of East of France*, Proceedings 2010 CIGRE Session, Paper C6-204, Paris, August 23-27, 2010.
- [44] Electric Vehicles Initiative (EVI), “*Global EV outlook – Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*”, April 2013, <http://cleanenergyministerial.org/>
- [45] Fact sheet: Electric Vehicles Initiative (EVI), April 2013, New Delhi, available on <http://cleanenergyministerial.org/OurWork/Initiatives/ElectricVehicles.aspx>
- [46] C. Thiel, A. Alemanno, G. Scarcella, A. Zubaryeva, G. Pasaoglu – *Attitude of European car drivers towards electric vehicles: a survey*, JRC Scientific and Policy Report, European Commission, 2012.
- [47] Smart Cities Council, *Smart Cities Readiness Guide. The planning manual for building tomorrow's cities today*, 2014.
- [48] Bloomberg NEF, *Electric Vehicle Outlook 2020*, May, 2020.
- [49] European Technology Platform SmartGrids, “*Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*”, European Commission Directorate-General for Research Cooperation/Energy, Report EUR 22040, <http://www.smartgrids.eu>, 2006.
- [50] R. Belhomme, J. Maire - “*Smart Grids: drivers, main constituents and perspectives*”, CIGRE 2011 Bologna Symposium, Bologna, 2011.
- [51] Comisia Europeană - Carte Albă. *Foaie de parcurs pentru un spațiu european unic al transporturilor – Către un sistem de transport competitiv și eficient din punct de vedere al resurselor*, Bruxelles, 2011.
- [52] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), *Report - Standardization for road vehicles and associated infrastructure*, Octombrie 2011.
- [53] CIGRE, *Integration of electric vehicles in electric power systems*, Working Group C6.20, Septembrie 2015.
- [54] Website International Electrotechnical Commission, TC69 - *Electric road vehicles and electric industrial trucks*.
- [55] Fondul European Pentru Dezvoltare Regională, *Programul URBACT II – EVUE Vehicule electrice în Europa urbană*, 2012.
- [56] BEAMA, *A guide to Electric Vehicle infrastructure*, 2015.
- [57] William B. Cassidy, *The Lost Annals of Transport. "Trucking's Eclipsed Electric Age"*.
- [58] S. Wilson, *Early Electric Car Charging*, Electric Vehicle Association of Greater Washington DC, May, 2013.
- [59] Wikipedia - Charging stations:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station#Battery_swapping
- [60] Wenxiang Li, Ye Li, Haopeng Deng, Lei Bao, *Planning of Electric Public Transport System under Battery Swap Mode*, MPDI Journal Sustainability, July, 2018.
 - [61] A. Alonso, T. Coosemans, P. Perlo, M. Comoglio et al, *GO4SEM recommendations to support innovation links for entering global e-Mobility markets*, 6th Transport Research Arena, Transportation Research Procedia 14, pp. 3667-3675, April, 2016.
 - [62] Netherlands Enterprise Agency, *Electric vehicle charging. Definitions and explanation*, January, 2019.
 - [63] International Energy Agency, *Global EV Outlook 2019*, May, 2019.
 - [64] Transport&Environment, *Roll-out of public EV charging infrastructure in the EU. Is the chicken and egg dilemma resolved?*, September, 2018.
 - [65] D. Howell, S. Boyd, B. Cunningham, S. Gillard, L. Slezak, *Enabling Fast Charging: A Technology gap Assessment*, U.S. Department of Energy, October, 2017.
 - [66] European Alternative Fuels Observatory official website – <http://www.eafo.eu/electric-vehicle-charging-infrastructure>.
 - [67] Idaho National Laboratory, *Electric vehicle charging habits revealed*, Septembrie 2015.
 - [68] M. Nicholas, D. Hall, *Lessons learned on early electric vehicle fast-charging deployments*, ICCT - The International Council on Clean Transportation, July, 2018.
 - [69] PlanGridEV EU Project, *Distribution grid planning and operational principles for EV mass roll-out while enabling DER integration*, 2015.
 - [70] EURELECTRIC, *Smart Charging: steering the charge, driving the change*, March, 2015.
 - [71] **A. T. Radu**, M. Eremia, L. Toma, *Optimal charging of electrical vehicles in the smart city for loss minimization and voltage improvement*, Scientific Bulletin of the „Petru Maior” University of Tîrgu Mureș Vol. 14 (XXXI) no. 1, 2017.
 - [72] **A. T. Radu**, M. Eremia, L. Toma, *Optimal electrical vehicle charging strategy for operating conditions improvement in distribution electrical grid*, International Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance – CMDM 2017 (4th edition), Bucharest, September 2017.
 - [73] N. Vidal, C. Silvestri, P. Scuro, S. Brambilla, “*Requirements for the infrastructure based on the defined model*”, Grid for Vehicles G4V Project, 2011.
 - [74] L. Kelly, “*Probabilistic Modelling of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Impacts on Distribution Networks in British Columbia*”, University of Waterloo, 2005.
 - [75] A. von Jouanne, B. Banerjee, *Voltage Unbalance: Power Quality Issues, Related Standards and Mitigation Techniques: Effect of Unbalanced Voltage on End Use Equipment Performance*, EPRI, 2000.
 - [76] N. Gunderson, K. Sand, *Integration of electric vehicles to the distribution grid*, CIRED, 2011.
 - [77] **A. T. Radu**, M. Eremia, L. Toma, *Promoting battery energy storage systems to support electric vehicle charging strategies in smart grids*, 2017 Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest, 2017, pp. 1-6.
 - [78] K.M. Tan, V.K. Ramachandaramurth, J.Y.Yong, *Integration of electrical vehicle in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques*, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016; 53:720–732.

- [79] W. Kempton, S. Letendre, *Electric vehicles as a new power source for electric utilities. Transportation Research Part D- Transportation and Environment*, 1997; 2(3):157–175.
- [80] Grid-4-Vehicles EU FP7 project, *Deliverable 3.1-Report on the economic and environmental impacts of large-scale introduction of EV/PHEV including the analysis of alternative market and regulatory structures*, Editors A. Shakoor and M. Aunedi, available at: http://www.g4v.eu/datas/reports/G4V_WP3_D3_1_economic_and_environmental_impact.pdf
- [81] V. Silva, C. Kieny, *Impacts of EV on Power Systems and minimal control solutions to mitigate these*, Grid for Vehicles G4V Project, 2011.
- [82] V. Silva, L. Glorieux, C. Kieny, M. Ortega-Vazquez, B. Roussien, J. Laaraakers, C. Matrose, M. Bolczek, *Estimation of Innovative Operational Processes and Grid Management for the Integration of EV*, Grid for Vehicles G4V Project, 2011.
- [83] European Commission. *Renewable Energy Directive 2009/28/EC*, 2009.
- [84] M. Chindris, A. Cziker, Anca Miron, D. Sacerdotianu, *Small Distributed Renewable Energy Generation for Low Voltage Distribution Networks*, Problemele Energeticii Regionale: 2(31) pp. 11-21, August, 2016.
- [85] International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Energy Prospects for the European Union*, February, 2018.
- [86] Agora Energiewende and Sandbag, *The European Power Sector in 2017. State of Affairs and Review of Current Developments*, January, 2018.
- [87] China National Renewable Energy Centre (CNREC), *Energy Transition Trends 2018: China, Europe, USA*, May, 2018.
- [88] S. Howell, Y. Rezgui, J. L. Hippolyte, B. Jayan, Haijiang Li, *Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multiagent management of distributed energy resources*, Elsevier Journal - Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 77, pp. 193-214, September 2017.
- [89] M. Francesco, *Electric Vehicles Integration in the Electric Power System with Intermittent Energy Sources - The Charge/Discharge infrastructure*, Technical University of Denmark, Department of Electrical Engineering, PhD thesis, March 2013.
- [90] "Microgrids – Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids", EU Contract ENK5- CT-2002-00610, Technical Annex, May 2002.
- [91] F. J. Soares, J. A. P. Lopes, P. M. Rocha Almeida, *A Technical Management and Market Operation Framework for Electric Vehicles Integration into Electric Power Systems*, 2nd European Conference on SmartGrids and E-Mobility, Brussels, Belgium, October, 2010.
- [92] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, A. G. Madureira, *Defining control strategies for MicroGrids islanded operation*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, pp. 916-924, May, 2006.
- [93] M. Ferdowsi, I. Grau Unda, E. Karfopoulos, P. Papadopoulos, S. Skarvelis-Kazakos, L. Cipcigan, A. F. Raab, A. Dimeas, E. Abbasi, K. Strunz, *Controls and EV Aggregation for Virtual Power Plants*, Mobile Energy Resources in Grids of Electricity, Deliverable D1.3, October 2010. Available at: <http://www.evmerge.eu/>
- [94] Smart Energy Demand Coalition (SEDC), *The importance of Smart Charging*, April, 2017.
- [95] <https://www.camecon.com/how/our-work/en-route-pour-un-transport-durable/>

- [96] **A. T. Radu**, M. Eremia, L. Toma, *Rolul electromobilității în integrarea surselor regenerabile de energie și a generării distribuite*, Conferința "Zilele Academiei de Științe Tehnice din România" – ediția a XIII-a: "Energie și mediu – provocări majore ale secolului XXI", Ploiești, Octombrie 2018.
- [97] **A. Radu**, M. Eremia, L. Toma, *Optimal charging coordination of electric vehicles considering distributed energy resources*, 2019 IEEE Milan PowerTech, Milan, Italy, 2019, pp. 1-6.
- [98] P. Faria, T. Soares, Z. Vale, H. Morais, *Distributed generation and demand response dispatch for a virtual power player energy and reserve provision*, Renewable Energy, Elsevier, vol. 66(C), pages 686-695, 2014.
- [99] International Energy Agency – *Global EV Outlook 2019*, May 2019.
- [100] European Commission, Directorate General for Energy – *Clean Energy for all Europeans*, May 2019.
- [101] L. Toma, *Managementul serviciilor de sistem în condițiile pieței de energie electrică*, Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" din București, București, 2010.
- [102] ANRE – *Codul Comercial al Pieței Anglo de Energie Electrică*, România, 2004.
- [103] ANRE – *Codul Tehnic al Rețelei Electrice de Transport*, România, 2004.
- [104] Transelectrica – website: <http://www.transelectrica.ro/web/tel/structura-pietei-romanesti>.
- [105] ANRE – *Proiect: Regulamentul pentru piața serviciilor tehnologice de sistem*, 2016.
- [106] EU FP7 Grid-4-Vehicles project, Deliverable 6.1, *Impacts of Electric Vehicles on Power Systems and minimal control solutions to mitigate these*, Mai 2011.
- [107] EU FP7 Grid-4-Vehicles project, Deliverable 3.1, *Report on the economic and environmental impacts of large-scale introduction of EV/PHEV including the analysis of alternative market and regulatory structures*, August, 2011.
- [108] Y.G. Rebours, D.S. Kirschen, M. Trotignon, S. Rossignol, „*A Survey of Frequency and Voltage Control Ancillary Services-Part I: Technical Features*”, IEEE Transactions on Power Systems, vol.22, no.1, pp.350,357, Feb. 2007.
- [109] A. Schuller, F. Rieger, *Assessing the Economic Potential of Electric Vehicles to Provide Ancillary Services: The Case of Germany*, Zeitschrift fur Energiewirtschaft, vol. 37, pp. 177-194, 2013.
- [110] J.C. do Prado, W. Qiao, *A vision of the next-generation retail electricity market in the context of distributed energy resources*, 2018 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Washington, DC, USA, 19-22 Feb. 2018.
- [111] S. I. Vagropoulos and A. G. Bakirtzis, *Optimal bidding strategy for electric vehicle aggregators in electricity markets*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 4, pp. 4031–4041, 2013.
- [112] R. J. Bessa, M. A. Matos, F. J. Soares, J. A. Lopes, *Optimized bidding of a EV aggregation agent in the electricity market*, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 443–452, 2012.
- [113] R. J. Bessa, M. A. Matos, *Optimization models for an EV aggregator selling secondary reserve in the electricity market*, Electric Power Systems Research, vol. 106, pp. 36–50, 2014.
- [114] M. Alipour, B. Mohammadi-Ivatloo, M. Moradi-Dalvand, K. Zare, *Stochastic scheduling of aggregators of plug-in electric vehicles for participation in energy and ancillary service markets*, Energy, vol. 118, pp. 1168–1179, 2017.
- [115] T. W. Hoogvliet, G. B. Litjens, W. G. van Sark, *Provision of regulating- and reserve power by electric vehicle owners in the Dutch market*, Applied Energy, vol. 190, pp. 1008–1019, 2017.

- [116] A. Van Der Veen, M. Kaisers, *Computing the value of flexibility in electricity retail, ahead and balancing markets*, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Conference Europe, 2017.
- [117] *E-Mobility, Tapping The value of Smart Charging*, Electro Mobility, Position Paper, 2018.
- [118] H. Jia, X. Lia, Y. Mu, C. Xu, Y. Jiang, X. Yu, J. Wu, C. Dong, *Coordinated control for EV aggregators and power plants in frequency regulation considering time-varying delays*, Appl. Energy, vol. 210, pp. 1363-1376, January 2018.
- [119] International Energy Agency - Electricity Information: www.iea.org/statistics/electricity/.
- [120] **A. Radu**, M. Eremia, L. Toma, *Participation of the Electric Vehicles in the Balancing Market*, 2019 Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-6.
- [121] **A.T. Radu**, M. Eremia, L. Toma, *Use of battery storage systems in EV ultra-fast charging stations for load spikes mitigation*, Buletinul Științific al Politehnicii din București, Seria C: Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2020.